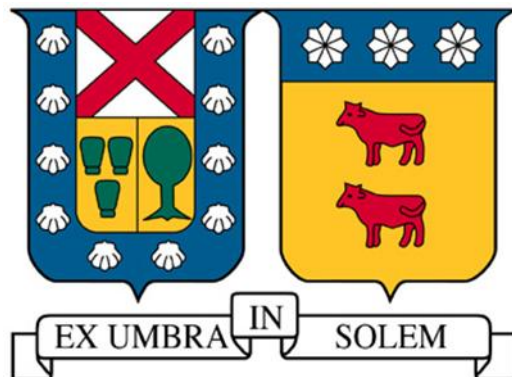


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE AERONÁUTICA

SANTIAGO – CHILE



EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE EMPRESA ESPECIALIZADA EN EL USO DE DRONES AGRÓNOMOS

CRISTOBAL COFRÉ VALLEJOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR(A) GUIA

: SR VICTOR POBLETE GÓMEZ

PROFESOR(A) CORREFERENTE

: SR MARTINUS GERARDUS POTTERS



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD TECNICA ECONOMICA DE EMPRESA ESPECIALIZADA EN EL USO DE DRONES AGRONOMOS

Nombre del candidato(a): Cristobal Nicolas Cofré Vallejos

Carrera / Grado: Ingenieria en Aviacion Comercial

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Departamento de Aeronautica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Victor Poblete, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 22/06/2026

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 22/06/2026

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Contenido

<i>1. CAPITULO 1: ANTECEDENTES</i>	<i>10</i>
<i>1.1. JUSTIFICACION</i>	<i>10</i>
<i>1.2. OBJETIVOS:</i>	<i>14</i>
<i>1.2.1. Objetivo general</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2. Objetivos específicos</i>	<i>14</i>
<i>1.3. METODOLOGIA</i>	<i>15</i>
<i>1.4. ALCANCE</i>	<i>16</i>
<i>2.1. ANTECEDENTES</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1. DESCRIPCION SECTOR INDUSTRIAL</i>	<i>18</i>
<i>2.1.2. CASOS DE ÉXITO Y FRACASO</i>	<i>20</i>
<i>2.2. MARCO TEORICO</i>	<i>22</i>
<i>2.2.1. EVALUACION DE PROYECTO</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2. PROYECCION ECONOMICA (MODELO HOLT WITNERS)</i>	<i>23</i>
<i>2.2.1. CAMARAS Y OPTICA</i>	<i>24</i>
<i>2.2.2. MODELO BROWN AND GIBSON</i>	<i>28</i>
<i>2.2.3. EVOLUCION DE LOS CONCEPTOS</i>	<i>31</i>
<i>2.3. PROPUESTA METODOLOGICA</i>	<i>32</i>
<i>2.3.1. ESTUDIO DE MERCADO</i>	<i>32</i>
<i>2.3.2. ESTUDIO TECNICO</i>	<i>33</i>

2.3.3.	<i>ESTUDIO ECONOMICO</i>	33
2.3.4.	<i>SENSIBILIZACION</i>	34
2.4.	<i>REQUERIMIENTOS LEGALES</i>	35
2.4.1.	<i>Normativa DGAC</i>	35
2.4.2.	<i>DAN 151</i>	35
2.4.3.	<i>DAN 91: Reglas de Vuelo y Operación General</i>	37
2.4.4.	<i>Ley 18916</i>	37
2.4.5.	<i>Normativa SAG</i>	38
2.4.6.	<i>Inscripción de la empresa (SAG)</i>	38
2.4.7.	<i>Resolución N°3670</i>	39
2.4.8.	<i>Personal e Insumos</i>	40
3.	<i>ESTUDIO DE MERCADO</i>	40
3.1.	<i>Definición del Servicio</i>	40
3.2.	<i>Proyección de la demanda</i>	41
3.2.1.	<i>Prueba estadística serie de tiempo</i>	41
3.2.2.	<i>Proyección hectáreas cultivadas horizonte 2025 – 2030</i>	43
3.2.3.	<i>Hectáreas Fumigadas</i>	45
3.2.4.	<i>Benchmarking, hectáreas captadas por drones en chile y por el proyecto.</i> ..	47
3.3.	<i>Análisis de la oferta</i>	50
3.3.1.	<i>Oferentes Directos</i>	50

3.3.2.	<i>Oferentes indirectos</i>	52
3.4.	<i>ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL</i>	56
3.5.	<i>VSM</i>	57
3.6.	<i>MAQUINARIA</i>	59
3.6.1.	<i>Selección Rpas y mantenimiento</i>	59
3.6.2.	<i>Transporte</i>	67
3.6.3.	<i>Generadores</i>	69
3.6.4.	<i>Software de vuelo y administración</i>	70
3.6.5.	<i>Bombas de carga</i>	71
3.6.6.	<i>Estanque</i>	72
3.7.	<i>INSUMOS</i>	73
3.7.1.	<i>Quimicos</i>	73
3.7.2.	<i>Energía.</i>	73
3.7.3.	<i>EPP</i>	75
3.8.	<i>KPIS</i>	76
3.9.	<i>LOCACION Y LAYOUT</i>	77
3.1.	<i>Draft operacional</i>	86
4.	<i>ANALISIS ECONOMICO</i>	89
5.	<i>SENSIBILIZACION</i>	97
5.1.	<i>CONCLUSIONES</i>	102

6.	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	104
7.	<i>ANEXOS.</i>	107
7.1.1.	<i>Descripciones de cargo.</i>	111

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1: Comparación de costos por hectárea fumigada (Fuente: reporte DJI Agriculture)</i>	13
<i>Tabla 1.2: Diagrama de flujo de la metodología (Fuente: elaboración propia)</i>	15
<i>Tabla 1.3 Ejemplo matriz de asignación</i>	29
<i>Tabla 1.4 Ejemplo calculo del índice R_i (Puntaje de cada localización para el factor subjetivo i)</i>	30
<i>Tabla 3.1 Tabla con los resultados de las pruebas estadísticas (Fuente: Elaboración propia)</i>	42
<i>Tabla 3.2 Resultados del modelo Holt (Fuente: Elaboración propia)</i>	44
<i>Tabla 3.3 Porcentaje de cultivo y frecuencia de aplicaciones fitosanitarias (Fuentes: Catastro frutícola, Programa Nacional Lobesia botrana, calendario fitosanitario Point Chile)</i>	46
<i>Tabla 3.4 Proyección hectáreas fumigadas. (Fuente: Elaboración propia)</i>	47
<i>Tabla 3.5 Proyección hectáreas captadas por la empresa</i>	49
<i>Tabla 3.6 Elaboración propia, comparación de empresas de fumigación (Fuente: sitio web de cada empresa)</i>	50
<i>Tabla 3.7 Características técnicas Rpas en el mercado (Fuente: tiendas como Famagro o Dronespray)</i>	61
<i>Tabla 3.8 Características técnicas DJI Mavic 3 Multispectral (Fuente DJI Famagro)</i>	63
<i>Tabla 3.9 Partes y piezas T70P (Fuente: Heliboss)</i>	65
<i>Tabla 3.10 Características técnicas vehículos de transporte (Fuentes: Chileautos, paginas oficiales de las marcas)</i>	67
<i>Tabla 3.11 Características técnicas Generador (Fuente: DJI Agras)</i>	70
<i>Tabla 3.12 Tabla insumos químicos operacionales (Fuente: Catalogo de distribuidores como Copeval, Coagra)</i>	73
<i>Tabla 3.13 EPP necesarios para la operación (Fuente: Catalogo proveedores de EPP como Sodimac)</i>	75
<i>Tabla 3.14 Ponderación de cada comuna</i>	81
<i>Tabla 3.15 Coeficientes Subjetivos.</i>	83
<i>Tabla 3.16 Resultados evaluación Brown and Gibson</i>	84

<i>Tabla 4.1 Tabla de proyección de ingresos.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 4.2 Inversión total necesaria para el proyecto.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 4.3 Tasas de interés promedio de los diferentes FOPAGUE según la CMF (Fuente: CMF, https://www.cmfchile.cl/portal/estadisticas/617/w3-propertyvalue-48941.html).....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4.4 Tabla de amortización del crédito.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4.5 Detalle de financiamiento.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 4.6 Costos variables de la institución.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 4.7 Costos fijos de la institución.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 5.1 Intervalos de Sensibilización.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 7.1 Tabla con los datos de las [Ha] plantadas en Chile desde 1999 (Fuente: Instituto nacional de estadística, Catastro vinícola)</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 7.2 Análisis Cualitativo de la penetración de Drones según cultivo. (Fuente: Informe DJI agriculture)</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 7.3 Flujo de caja.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 7.4 Descripción de cargo jefe de operaciones.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 7.5 Descripción de cargo Analista imagen.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 7.6 Descripción de cargo Operador Rpas.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 7.7 Descripción de cargo Técnico Agrícola.....</i>	<i>114</i>

INDICE DE GRAFICOS

<i>Gráfico 1.1: Elaboración propia (Fuente: Catastro frutícola 2023)</i>	10
<i>Gráfico 1.2: Elaboración propia. (Fuente: Boletín regional de exportaciones silvoagropecuarias)</i>	11
<i>Gráfico 1.3: distribución de huertos frutícola en la región Metropolitana (Fuente:ODEPA)</i>	17
<i>Gráfico 3.1 Proyección hectáreas cultivadas (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE)</i>	44
<i>Gráfico 3.2 Curva Normal posibles hectáreas año 2027 (Fuente: Elaboración propia)</i>	45
<i>Gráfico 4.1 Sensibilidad Talca VS Rancagua</i>	85
<i>Gráfico 5.1 Flujos acumulados</i>	95
<i>Gráfico 6.1 Resultado simulación de Monte Carlo</i>	98
<i>Gráfico 6.2 Contribución de las variables al VAN</i>	99
<i>Gráfico 6.3 Simulación monte Carlo TIR</i>	100
<i>Gráfico 6.4 Contribución de las Variables a la TIR</i>	101

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Primera Camara obscura</i>	25
<i>Ilustración 2 Composición de materiales Volcán Irruputuncu (Fuente: Memoria “ANÁLISIS ESPECTRAL REMOTO DE MINERALES ASOCIADOS A LOS VOLCANES OLCA E IRRUPUTUNCU”)</i>	27
<i>Ilustración 3.1 Imagen robot aspersor Xag F150</i>	53
<i>Ilustración 3.2 nebulizador</i>	54
<i>Ilustración 3.3 Fumigación aeronave ala fija</i>	55
<i>Ilustración 4.1 Imagen T70 P</i>	62
<i>Ilustración 4.2 Equipo de trabajo cargado.</i>	68
<i>Ilustración 8.1 Ficha de inscripción Rpas Dan 151</i>	109

INTRODUCCION

La industria agrícola en Chile se ha consolidado históricamente como un pilar fundamental del desarrollo nacional, representando un 3,4% del Producto Interno Bruto (PIB) y concentrando una parte significativa de su capacidad productiva en la zona central del país. Sin embargo, este sector enfrenta hoy desafíos sin precedentes, el cambio climático, la escasez hídrica persistente y las crecientes exigencias de los mercados internacionales respecto a los límites máximos de residuos (LMR) han forzado a los productores a buscar soluciones que maximicen la eficiencia sin comprometer la sostenibilidad.

En este escenario, la cuarta revolución agrícola surge como una respuesta tecnológica mediante la digitalización y automatización de procesos. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV o drones) han pasado de ser prototipos experimentales a herramientas críticas de precisión, capaces de reducir el uso de agua en hasta un 90% y optimizar los costos operativos en comparación con los métodos terrestres tradicionales. Pese a estas ventajas evidentes, la adopción formal de esta tecnología en Chile aún requiere de estructuras empresariales que garanticen no solo la eficacia agronómica, sino también el cumplimiento estricto de la normativa aeronáutica vigente, como la DAN 151 de la DGAC.

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal evaluar técnica y económicamente la prefactibilidad de implementar una empresa especializada en la prestación de servicios de fumigación, monitoreo y análisis de cultivos mediante drones en la zona central de Chile. A través de un enfoque metodológico que integra estudios de mercado basados el modelo holt witners, análisis de localización mediante el modelo de Brown y Gibson, y una rigurosa evaluación financiera, se busca determinar si la creación de una organización de esta naturaleza es una inversión viable y rentable.

ABSTRAC

The agricultural industry in Chile has historically established itself as a fundamental pillar of national development, representing 3.4% of the Gross Domestic Product (GDP) and concentrating a significant portion of its productive capacity in the central region of the country. However, this sector currently faces unprecedented challenges, climate change, persistent water scarcity, and increasing demands from international markets regarding Maximum Residue Limits (MRLs) have forced producers to seek solutions that maximize efficiency without compromising sustainability. In this scenario, the fourth agricultural revolution emerges as a technological response through the digitalization and automation of processes.

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs or drones) have transitioned from experimental prototypes to critical precision tools, capable of reducing water use by up to 90% and optimizing operating costs compared to traditional terrestrial methods. Despite these evident advantages, the formal adoption of this technology in Chile still requires business structures that guarantee not only agronomic efficacy but also strict compliance with current aeronautical regulations, such as the DGAC's DAN 151.

The primary objective of this degree thesis is to technically and economically evaluate the pre-feasibility of implementing a company specialized in providing crop spraying, monitoring, and analysis services using drones in central Chile. Through a methodological approach that integrates market studies based on the Holt-Winters model, location analysis using the Brown and Gibson model, and a rigorous financial evaluation, the study seeks to determine if creating an organization of this nature is a viable and profitable investment.

1. CAPITULO 1: ANTECEDENTES

1.1. JUSTIFICACION

En Chile la industria agrícola se posiciona como uno de los sectores económicos fundamentales para el desarrollo nacional. Según cifras del Banco Central (2024), este rubro, junto con la industria silvícola y pecuaria, representó un 3,4%¹ del Producto Interno Bruto (PIB) del país, lo que demuestra su relevancia en la estructura productiva nacional.

Específicamente dentro de la zona central de Chile (desde Valparaíso a la región del Bio Bio) se concentra más de la mitad de la cantidad de hectáreas plantadas a nivel nacional (373.122)² siendo aproximadamente 290.000³ hectáreas cultivadas de distintos tipos de especies frutícolas, las cuales, según datos del INE se estima que para finales del 2025 en regiones como Maule y el Bio Bio crezcan hasta un 5%⁴ con respecto al año anterior. En el Gráfico 1.1 se muestra en detalle la distribución del total de hectáreas de la zona central.

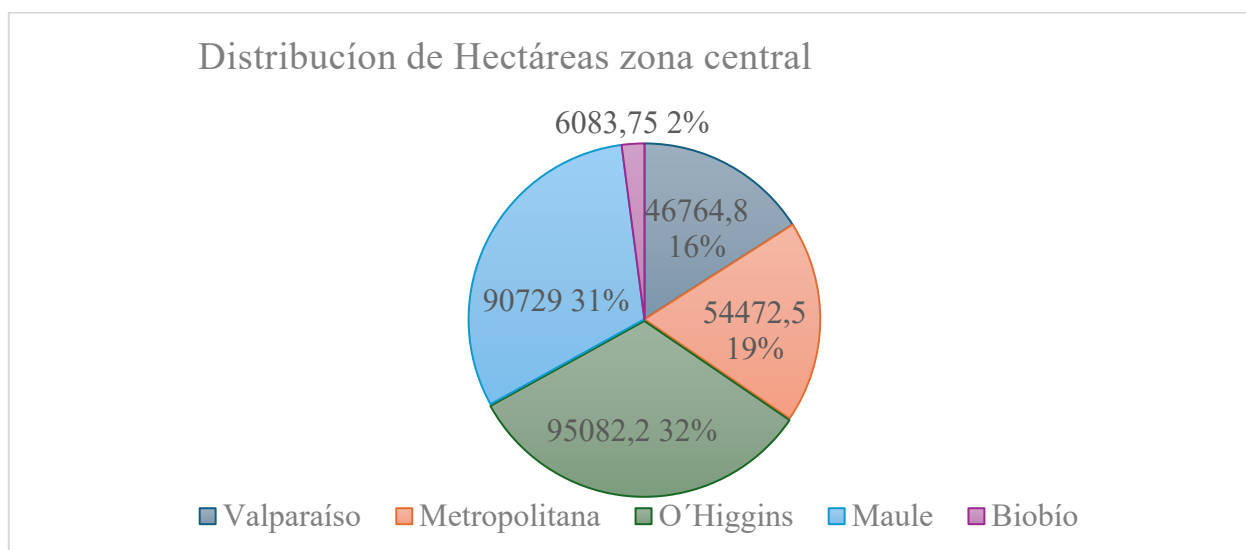


Gráfico 1.1: Elaboración propia (Fuente: Catastro frutícola 2023)

¹ Fuente: Banco Central de Chile. https://si3.bcentral.cl/siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_P2Banco Central de Chile+4Banco Central de Chile+4

² Fuente: ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2023/11/RegionMetropolitana-0911.pdf>

³ Fuente: ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2023/11/RegionMetropolitana-0911.pdf>

⁴ Fuente: INE <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/cosecha>

Esta información se traduce en términos monetarios a que, por ejemplo, en la región de O'Higgins se exportaron más de 1800 millones de dólares FOB⁵ en productos agrícolas solo en el periodo enero-febrero 2025, que si bien tuvo una disminución con respecto al año 2024 sigue siendo un indicador que demuestra la magnitud de la industria agrícola en nuestro país. En el Gráfico 1.2 se muestra en detalle las exportaciones regionales más importantes en términos monetarios en el periodo enero-febrero (temporada alta) para los años 2024 y 2025.

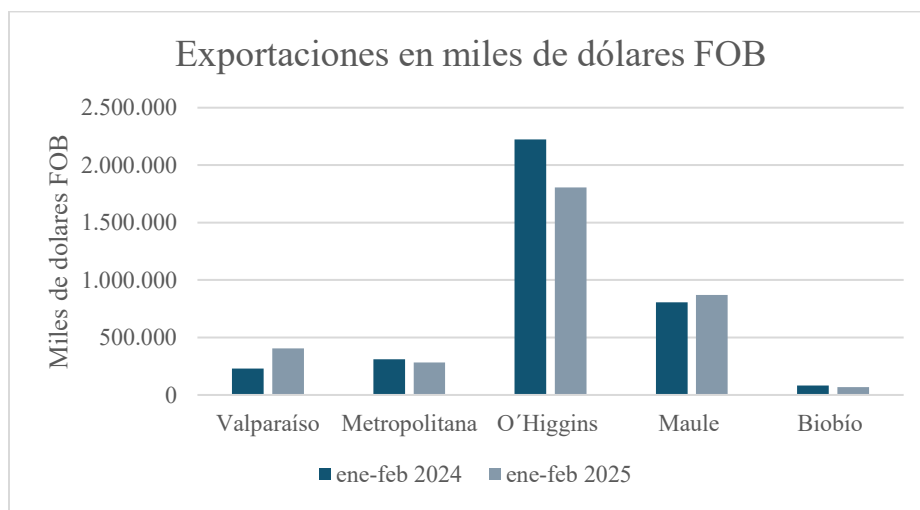


Gráfico 1.2: Elaboración propia. (Fuente: Boletín regional de exportaciones silvoagropecuarias)

Sin embargo, las cifras revisadas de producción y exportación contrastan con los crecientes desafíos que enfrenta la industria agrícola nacional, especialmente si analizamos la zona central de Chile. Esta región, clave para la producción frutícola del país, se ve afectada por fenómenos como el cambio climático, la escasez hídrica en regiones como la Metropolitana y la degradación del suelo. A esto se suman las nuevas exigencias internacionales, como los estrictos límites máximos de residuos (LMR) establecidos por organismos como el Codex Alimentarius, así como las regulaciones derivadas de acuerdos multilaterales suscritos por Chile, tales como la CIPF y el Acuerdo MSF de la OMC⁶. Estas normativas obligan a implementar mejores prácticas agrícolas y una gestión más rigurosa del uso de plaguicidas,

⁵ Fuente: ODEPA <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2025/02/Boletin-regional-de-exportaciones-silvoagropecuarias.pdf>

⁶ Fuente: IPPC <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a30b8ae6-fb4e-4ee2-a8d9-4dff6e6c4b61/content>

con el fin de asegurar una producción vegetal saludable, competitiva por parte de nuestro país.

En este contexto, la incorporación de tecnología en la industria agrícola representa una oportunidad clave para optimizar procesos, mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y, a mediano y largo plazo, disminuir los costos operativos de los productores nacionales.

Un claro ejemplo de esta innovación son los drones, que ya se utilizan con éxito en diversas industrias. En la minería, por ejemplo, se emplean para realizar levantamientos topográficos y monitoreo de faenas con alta precisión, en la construcción, permiten inspeccionar grandes obras en tiempo real, y en la logística, empresas como Amazon han experimentado con entregas automatizadas mediante drones. En la agricultura, su potencial es diverso, pueden aplicarse en la fumigación dirigida, el monitoreo de cultivos, la detección temprana de plagas y enfermedades, así como en la recopilación de datos para una toma de decisiones más informada. En un estudio realizado por DJI Agriculture, una de las empresas fabricantes de drones más reconocidas a nivel mundial (70% de participación de mercado global según Drone Industry Insights), se señaló que en el periodo 2023-2024 con el uso de sus drones fumigadores en el mundo se redujo el uso de agua en 210 millones de toneladas lo que es equivalente al consumo anual de 390 millones de personas, además, se disminuyeron las emisiones de carbono en 25 millones de toneladas⁷. En la Tabla 1.1 se muestra una comparación de costos al fumigar una hectárea de agave con diferentes métodos.

⁷ Fuente: Agricultural Drone Report
https://www1.djicdn.com/cms_uploads/ckeditor/attachments/9171/03e81f9a23cf4df447b66c91c43d929a.pdf

Cost Breakdown	Drone Spraying	Tractor Spraying	Manual Spraying
Labor Costs	\$1.43	\$14.29	\$57.14
Chemical Costs	\$133.71	\$133.71	\$133.71
Fuel Costs	\$0.00	\$44.57	\$0.00
Equipment Maintenance & Depreciation	\$1.83	\$1.83	\$0.00
Other Costs	\$2.86	\$5.71	\$26.74
Total Cost Per Hectare	\$139.83	\$200.11	\$217.60

Tabla 1.1: Comparación de costos por hectárea fumigada (Fuente: reporte DJI Agriculture)

Considerando los antecedentes expuestos en la justificación, se puede afirmar que existen condiciones para realizar un estudio de prefactibilidad técnica económica de una organización que desee entrar a este mercado.

1.2. OBJETIVOS:

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar técnica y económicamente la prefactibilidad de implementar una empresa dedicada a la prestación de servicios de fumigación agrícola, evaluación del estado de los cultivos y análisis del terreno mediante el uso de drones especializados, considerando, la demanda del mercado local y los beneficios operacionales asociados al uso de esta tecnología.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la demanda potencial del tipo de servicio agrícola que se quiere ofrecer dentro de la zona centro de Chile, identificando cultivos, extensión y características del mercado objetivo.
- Determinar los requerimientos técnicos y legales necesarios para la creación de una organización que preste servicios de asesoría agrícola.
- Estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento de la organización, considerando los distintos servicios: fumigación, monitoreo de cultivos y evaluación del terreno.
- Diseñar un modelo de negocio preliminar, incluyendo la estructura operativa, estimaciones de ingresos y proyecciones de flujo de caja.
- Evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y análisis de sensibilidad de variables clave.

1.3. METODOLOGIA

En cuanto a la metodología a emplear, se seguirá la estructura clásica de una evaluación de proyectos, la cual comienza con una serie de estudios preliminares que culminan en el análisis económico y, posteriormente, en una sensibilización de variables clave. En este contexto, el diagnóstico estará compuesto por los objetivos y la metodología de esta memoria.

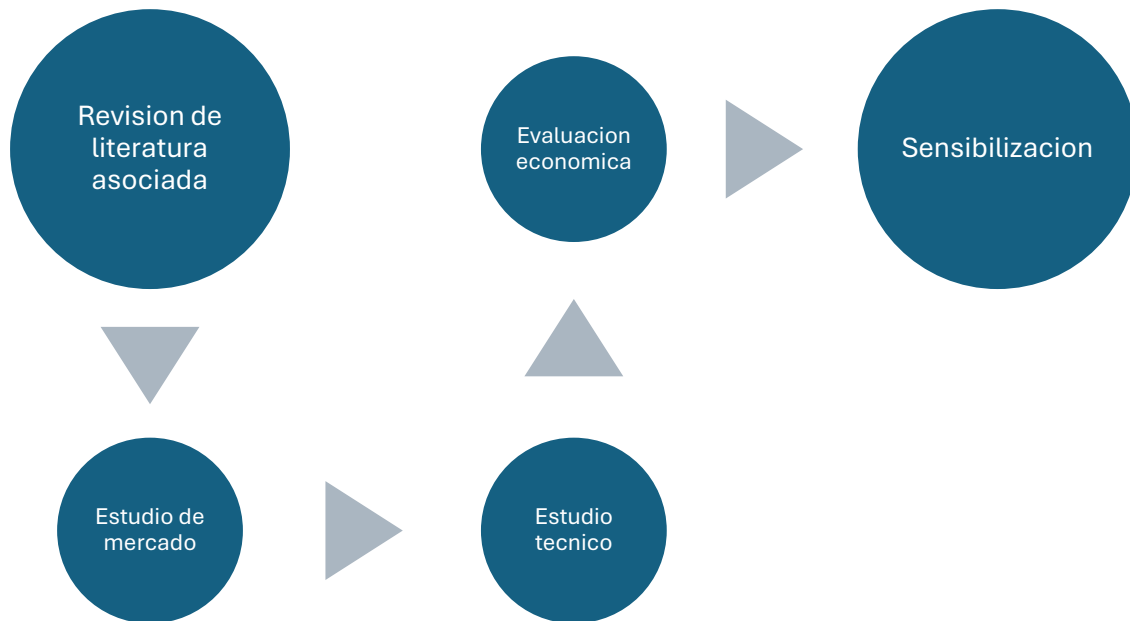


Tabla 1.2: Diagrama de flujo de la metodología (Fuente: elaboración propia)

El estudio de mercado abordará el análisis de la oferta y demanda del servicio propuesto, identificando a los posibles competidores y estimando el porcentaje de la demanda que podría ser cubierta por la empresa ficticia. Por su parte, el estudio técnico considerará los insumos necesarios, los tipos de drones a utilizar, medios de transporte, infraestructura operativa como oficinas, entre otros aspectos relevantes.

Con base en estos antecedentes, se proyectarán los ingresos ($P \times Q$) y los costos, lo que permitirá construir un flujo de caja. A partir de este, se evaluarán indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales serán posteriormente sometidos a un análisis de sensibilidad.

1.4. ALCANCE

En cuanto al alcance de este trabajo se podría definir de dos formas:

- Descriptiva: puesto que este trabajo busca caracterizar las capacidades técnicas y operativas de los drones especializados en el ámbito agrícola, así como identificar y detallar los costos asociados a su implementación en servicios de fumigación, monitoreo de cultivos y evaluación de terrenos. Junto a esto también se quiere describir el contexto del mercado agrícola en la zona central de Chile, incluyendo el análisis de la oferta, análisis de la demanda actual, cuáles son los principales cultivos de la región y los actores involucrados dentro de la industria agrónoma.
- Explicativo: Mediante la metodología de evaluación de proyectos, este estudio busca explicar si la implementación de una empresa de las características antes descritas es viable. Para ello, se construirá un modelo de negocio que incluirá un flujo de caja, la estimación de ingresos y costos, el análisis de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), y una sensibilización de variables clave.

Finalmente es importante mencionar que el alcance del proyecto cubrirá toda la zona central de Chile, desde Valparaíso hasta la región del Bio Bio, enfocándose principalmente en aquellos huertos que deban cubrir más de 5 hectáreas de extensión. El gráfico Gráfico 1.3 muestra la distribución de los huertos de la región metropolitana la cual es representativa de casi toda la zona centro. En el gráfico se aprecia como se distribuyen los huertos frutícolas dentro de la región metropolitana.

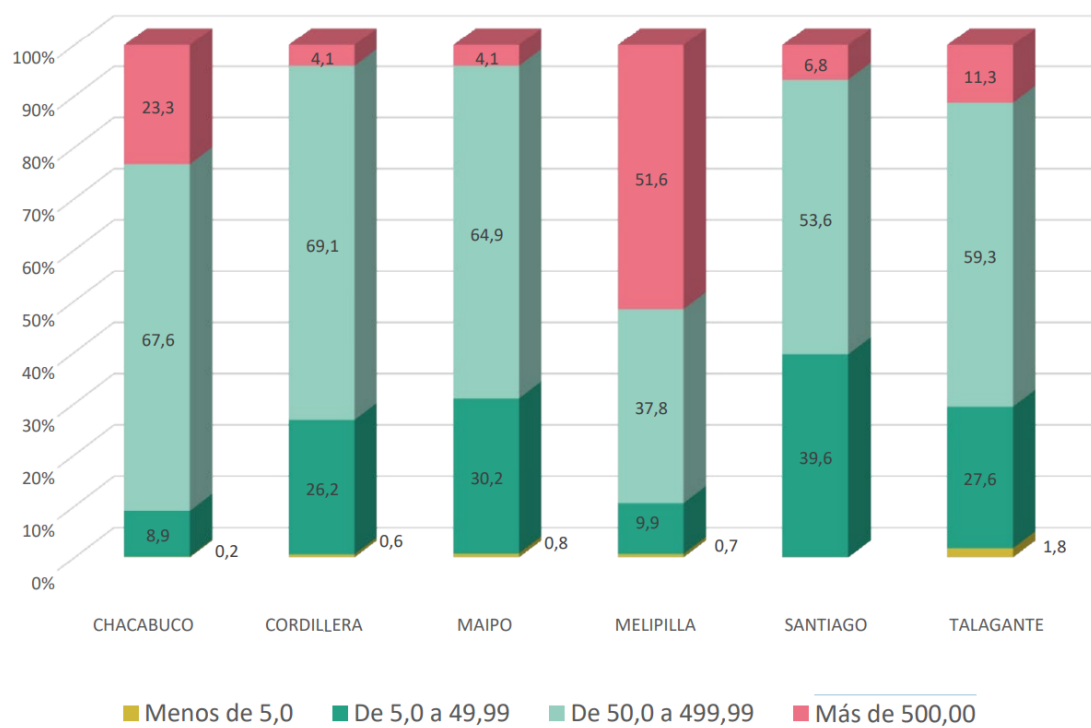


Gráfico 1.3: distribución de huertos frutícola en la región Metropolitana (Fuente:ODEPA)

CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. DESCRIPCION SECTOR INDUSTRIAL

Como contexto de este estudio se debe entender que la idea surge del cruce entre dos industrias, por un lado, la industria agrícola en Chile, un sector que, el año 2024 aportó aproximadamente un 3% del PIB nacional y generó 579.000 empleos directos, equivalentes al 6% de la población ocupada del país. Por otro lado, el surgimiento de nuevas tecnologías que ha llevado a empresas de diversos sectores a transformar sus procesos tradicionales, con objetivos como la optimización de recursos, la aceleración productiva, el aumento de la seguridad laboral o la automatización de tareas repetitivas. La convergencia de estos dos ámbitos (la agricultura y la innovación tecnológica) ha dado lugar a la industria agrícola a dejar a cargo de drones y sus pilotos procesos tan importantes como la fumigación, fertilización y monitoreo de cultivos. Para analizar de mejor forma el contexto del sector industrial, se evaluarán mediante la herramienta PESTEL.

- Política: La industria agrícola chilena, al igual que la mayoría de los sectores económicos del país está sujeta al contexto político, dentro de este se incluyen programas estatales como el subsidio INDAP, destinado a entregar apoyo financiero a pequeños productores para mejorar su capacidad productiva, y la Comisión Nacional de Riego (CNR), orientada a fomentar el uso de riego tecnificado. En el plano internacional, los tratados de libre comercio con China, Estados Unidos y la Unión Europea han abierto posibilidades para la exportación agrícola, acompañadas de exigencias fitosanitarias específicas. La actividad agrícola también está vinculada a situaciones de conflicto en torno al uso del agua y la tenencia de tierras. Por otro lado, gremios como la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA) y Fedefruta participan en el desarrollo de políticas públicas mediante acciones de representación sectorial.

- **Económico:** Chile es uno de los principales exportadores de fruta fresca del hemisferio sur, con una participación significativa en mercados internacionales. En la temporada 2023-2024, el valor total exportado alcanzó los US\$9.327 millones, de los cuales más del 70 % correspondió a fruta fresca, siendo las cerezas el producto con mayor participación. China concentró más del 50 % del volumen y valor exportado, seguida por Estados Unidos, Países Bajos, México, Reino Unido, Brasil y Alemania. Esta estructura de destino implica una exposición a factores como el tipo de cambio, requisitos fitosanitarios y condiciones del comercio internacional. Asimismo, se ha registrado un aumento en los envíos hacia mercados europeos y latinoamericanos, acompañado de un crecimiento en productos de mayor valor unitario, lo que ha generado una evolución en los requerimientos logísticos y tecnológicos asociados al comercio exterior de fruta fresca.
- **Social:** El sector agrícola en Chile está vinculado a territorios rurales donde constituye una fuente relevante de empleo. Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), aproximadamente el 9 %⁸ de la fuerza laboral del país se desempeña en actividades agropecuarias, con mayor concentración en regiones como O'Higgins, Maule y La Araucanía. Las características demográficas de estas zonas incluyen una alta proporción de población adulta y una participación laboral estacional.
- **Tecnológica:** La adopción de tecnologías digitales en el sector agrícola chileno ha avanzado mediante la incorporación de herramientas como drones, sensores remotos, sistemas de inteligencia artificial e Internet de las Cosas (IoT). Instituciones como la FAO y la Subsecretaría de Telecomunicaciones han desarrollado programas enfocados en mejorar la conectividad rural, especialmente en regiones con baja cobertura, como Ñuble y La Araucanía. Informes de organismos públicos y privados señalan que las principales limitaciones para la expansión de estas tecnologías son el acceso a infraestructura digital, la capacitación técnica y los costos asociados.
- **Ecológico:** La actividad agrícola en Chile interactúa con diversos factores ambientales. Según el Instituto Nacional de Estadísticas, el 49 %⁹ del territorio

⁸ Fuente: FAO <https://www.fao.org/chile/fao-en-chile/chileunamirada/es/>

⁹ Fuente: INE <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/energia-y-medioambiente/variables-basicas-ambientales>

nacional presenta algún grado de erosión, y un 38 % corresponde a erosión entre moderada y muy severa (INE, 2021). Por su parte, la Comisión Nacional de Riego (CNR) informa que aproximadamente 1,8 millones de hectáreas en Chile están bajo riego, y que un 28 % de esta superficie emplea riego presurizado, con variaciones en eficiencia y distribución según región (CNR, 2024). El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ha reportado estudios sobre impactos de residuos plásticos y microplásticos en suelos agrícolas de las regiones del Maule, Ñuble y Biobío, con observaciones relacionadas a la estructura del suelo y crecimiento vegetal (INIA, 2024). Ante este contexto, el Ministerio de Agricultura ha promovido técnicas como la siembra directa y las cubiertas vegetales, clasificadas dentro de la agricultura de conservación, orientadas a mantener la cobertura y humedad del suelo, y a reducir la pérdida de materia orgánica (MINAGRI, 2023).

- **Legislativa:** En cuanto a la normativa, se han introducido cambios como la Reforma al Código de Aguas (2022), que establece la prioridad del consumo humano y limita los derechos de aprovechamiento en zonas declaradas con escasez hídrica. A nivel nacional, la Ley 21.074 sobre fortalecimiento de la regionalización ha transferido competencias en materias agrícolas a los gobiernos regionales, aunque existen diferencias en los niveles de inversión entre territorios.

Finalmente, del análisis PESTEL se puede concluir que el éxito de una empresa dentro de la industria agrícola en Chile y al igual que en la mayoría de las industrias depende de diversos macro factores, en este caso existen elementos que configuran un escenario el cual requiere adaptación continua ante cambios normativos, presiones ambientales y demandas de eficiencia productiva.

2.1.2. CASOS DE ÉXITO Y FRACASO

Continuando con el análisis, si bien el PESTEL nos da una mirada general de las cosas, siempre es pertinente evaluar y consultar con el pasado. Evaluar tanto casos de éxito como de fracasos nos proporciona información valiosa acerca de qué prácticas se podrían copiar o seguir y qué acciones podrían ser perjudiciales para el caso de estudio. Además, nos proporciona una guía para anticipar riesgos, identificar factores críticos de éxito y tomar

decisiones fundamentadas al momento de implementar nuevas tecnologías o estrategias productivas. Esta retroalimentación histórica permite adaptar las soluciones al contexto local, incrementando las probabilidades de viabilidad técnica, económica y operativa del proyecto en análisis.

- El primer proyecto para evaluar fue uno desarrollado por el INIA el año 2020 en la Región de Ñuble, con financiamiento de la Fundación para la Innovación Agraria, implementó un sistema para la liberación aérea de insectos controladores de plagas mediante drones. Técnicamente, la iniciativa diseñó un dispositivo electrónico de descarga, software de planificación de vuelo y un sistema de monitoreo integrado, logrando una precisión de liberación promedio de 51 cm bajo condiciones de viento suave. Económicamente, en un escenario de operación eficiente, se estimó que la liberación aérea podría aumentar las utilidades hasta en un 69 %¹⁰ respecto a la liberación manual, al cubrir más superficie por jornada y reducir los requerimientos de mano de obra. No obstante, el proyecto no fue adoptado comercialmente debido a que no se validó su eficacia en condiciones reales de campo, presentaba pérdidas técnicas en la liberación de cápsulas, y el dron utilizado era un prototipo con autonomía limitada. Además, no se concretaron alianzas con empresas para su implementación, el sistema requería asesoría técnica especializada y su rentabilidad dependía de variables no comprobadas operativamente, lo que generó incertidumbre sobre su viabilidad económica.
- El estudio de caso realizado por Omar et al. (2024) evaluó el desempeño de un dron agrícola de 16 L en una plantación de piña en Malasia, utilizando diferentes boquillas (flat spray y hollow cone) para la aplicación de fertilizantes y herbicidas. La metodología incluyó observación en campo, entrevistas a agricultores, y pruebas controladas con variaciones en altura y velocidad de vuelo. Técnicamente, se determinó que una velocidad de 3 m/s y una altura de 2 m ofrecían la mejor cobertura, logrando hasta 0.7881 acres con herbicida por vuelo. Económicamente, se observó una reducción del 68 % en el uso de agua y del 83.3 % en mano de obra en

¹⁰ Fuente: FIA <https://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/147431>

comparación con la aplicación manual, lo que sugiere una mejora operativa significativa en tiempo y recursos bajo condiciones reales de cultivo.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. EVALUACION DE PROYECTO

La viabilidad del proyecto depende directamente de la presupuestación de capital, entendida como el conjunto de técnicas que permiten evaluar la conveniencia financiera de realizar una inversión de largo plazo. Esta teoría, ampliamente desarrollada por autores como Stephen Ross, Richard Brealey, Stewart Myers y Franklin Allen, establece que toda inversión debe ser evaluada bajo el principio del valor del dinero en el tiempo, reconociendo que un flujo de caja hoy vale más que uno futuro.

La herramienta central de esta teoría es el Valor Actual Neto (VAN), que mide el valor presente de los flujos de caja descontados a una tasa que refleje el costo del capital. Si el VAN es positivo, la inversión agrega valor a la empresa. Complementariamente, la Tasa Interna de Retorno (TIR) permite estimar la rentabilidad porcentual del proyecto, y su comparación con el costo de oportunidad del capital ayuda a tomar decisiones racionales (Ross, Westerfield & Jordan, 2019).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Ecuación 1.1 Ecuación Valor Actual Neto

El enfoque también considera el análisis de sensibilidad, técnica que permite evaluar cómo varía la rentabilidad del proyecto frente a cambios en variables, como el tipo de negocio que se efectuara (fumigación, análisis de suelo/vegetación) el costo de los equipos o la estacionalidad de la demanda. Por su parte, el economista chileno Nicolás Sapag Chain, en

su libro Preparación y Evaluación de Proyectos, resalta la importancia de estimar con precisión los ingresos proyectados, los costos operativos y los riesgos asociados a las inversiones tecnológicas. Propone una metodología estructurada que guía desde la formulación hasta la evaluación económica y social del proyecto (Sapag Chain, 2020).

2.2.2. PROYECCION ECONOMICA (MODELO HOLT WITNERS)

El método de Suavizamiento Exponencial Doble fue propuesto formalmente por Charles C. Holt en 1957, en el marco de una investigación sobre planificación de la producción y control de inventarios realizada en el Instituto de Tecnología Carnegie.

Holt buscaba resolver las limitaciones técnicas de los promedios móviles simples, los cuales reaccionaban con lentitud ante cambios en la dirección de los datos. Para ello, desarrolló un algoritmo que asigna ponderaciones decrecientes a la información histórica, otorgando mayor relevancia a las observaciones recientes. La innovación principal de su propuesta fue la incorporación de un segundo parámetro de suavizado diseñado específicamente para capturar y proyectar la tendencia lineal (la pendiente de crecimiento o decrecimiento) de una serie de tiempo. Aunque posteriormente Peter R. Winters (1960) extendió este trabajo para incluir la estacionalidad, el modelo de Holt constituye la base matemática para proyecciones con tendencia no estacional.

En cuanto al funcionamiento del modelo en sí, el primer paso del algoritmo consiste en calibrar la posición actual de la serie. Cada vez que ingresa un nuevo dato real y_t , el modelo lo compara con su propia predicción anterior para corregir su trayectoria. Mediante el parámetro α , el sistema decide qué tanto debe "confiar" en el nuevo dato frente a su historia pasada, si el dato real se desvía bruscamente, la ecuación absorbe parte de ese impacto para actualizar el nivel suavizado L_t , reduciendo el ruido aleatorio:

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$$

Ecuación 1.2 Cálculo de la estimación suavizada del valor actual

- L_t (Nivel): estimación suavizada del valor actual
- α : Parámetro entre 0 y 1 calculado implícitamente por el software que minimiza el SSE (suma de errores cuadrados)
- y_t : Dato correspondiente al periodo t
- b_{t-1} : tendencia del periodo anterior

Una vez ajustado el nivel, el modelo procede a recalcular la velocidad del crecimiento. Aquí, el algoritmo evalúa si la tendencia se está acelerando o frenando. Para ello, mide la diferencia entre el nuevo nivel y el anterior, ponderándolo con la tendencia que traía históricamente. El parámetro β regula esta sensibilidad, permitiendo que la pendiente β_t se adapte a cambios de ritmo en los datos:

$$b_t = \beta(L_t + L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$$

Ecuación 1.3 cálculo de la estimación de la tasa de cambio

- b_t : Estimación de la tendencia
- β : Valor entre 0 y 1 que minimiza el SSE

Finalmente, para generar la proyección a futuro $\hat{y}_{t+h}$, el modelo extrapola el comportamiento aprendido. Toma la última posición confirmada L_t y le suma la tasa de crecimiento estimada b_t multiplicada por la cantidad de años que se desea avanzar h . Es decir, asume que la inercia de crecimiento calculada en el último periodo se mantendrá constante durante el horizonte de pronóstico:

$$\hat{y}_{t+h} = L_t + h \cdot b_t$$

Ecuación 1.4 estimación periodo $t+h$

2.2.1. CAMARAS Y OPTICA

La resolución de cualquier sistema óptico está limitada de forma intrínseca por la naturaleza ondulatoria de la luz. Cuando un frente de onda electromagnética encuentra un obstáculo

físico o atraviesa una apertura circular (como la pupila de salida de una lente), experimenta difracción. Debido a este comportamiento físico, los puntos infinitesimales que constituyen un objeto no se proyectan en el plano de la imagen como puntos matemáticos perfectos, sino como patrones tridimensionales de difracción conocidos en su proyección bidimensional como discos de Airy. Este fenómeno de proyección a través de aberturas restrictivas tiene sus raíces fundamentales en el principio físico de la cámara oscura.

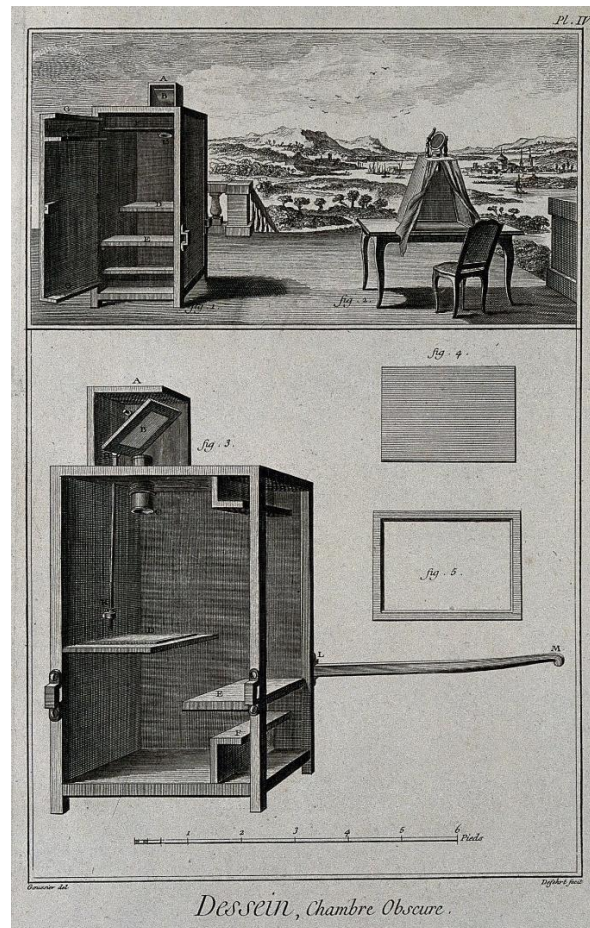


Ilustración 1.1 Primera Camara oscura

Dicho dispositivo basa su funcionamiento en la propagación rectilínea de la luz, donde los rayos emitidos o reflejados por un objeto convergen al atravesar un orificio hacia un entorno privado de luz, proyectando, con las limitaciones difractivas mencionadas, una imagen invertida y lateralmente transpuesta en la pared opuesta.

La ciencia moderna de la imagen abarca múltiples dimensiones de análisis físico que capturan datos imposibles de detectar por el sistema visual humano directo. Estas técnicas se dividen en modalidades ópticas pasivas (espectroscopia de imagen) y sistemas activos de emisión y recepción temporal (LiDAR).

En geofísica, minería y exploración mineral, la tecnología hiperspectral ha redefinido los métodos de prospección tanto aérea como terrestre. Debido a que los minerales exhiben bandas de absorción vibracional y electrónica características en longitudes de onda específicas, el análisis hiperspectral permite clasificar formaciones rocosas directamente en paredes de minas a cielo abierto, taludes de excavación y bandejas de núcleos de perforación sin alterar las muestras. Mediante el escaneo con cámaras hiperspectrales aerotransportadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV) o montadas en trípodes de campo, se adquieren mapas mineralógicos cuantitativos. Esta cartografía digital discrimina de manera precisa óxidos de hierro (hematita, goethita), arcillas de alteración hidrotermal (caolinita, illita, montmorillonita), carbonatos (calcita, dolomita), sulfatos (alunita, yeso) y cuarzo. La caracterización espectral en campo se valida empleando espectrorradiómetros portátiles de alta resolución como la serie FieldSpec, los cuales contrastan las firmas medidas con librerías espectrales de referencia. Asimismo, bajo mandatos de remediación ecológica de pasivos mineros históricos (LML), la imagen hiperspectral es clave para evaluar la calidad del suelo, rastrear el drenaje ácido de roca en cuencas hidrográficas y explorar yacimientos de minerales críticos necesarios para la transición energética, como las arcillas ricas en litio y las tierras raras (REE).

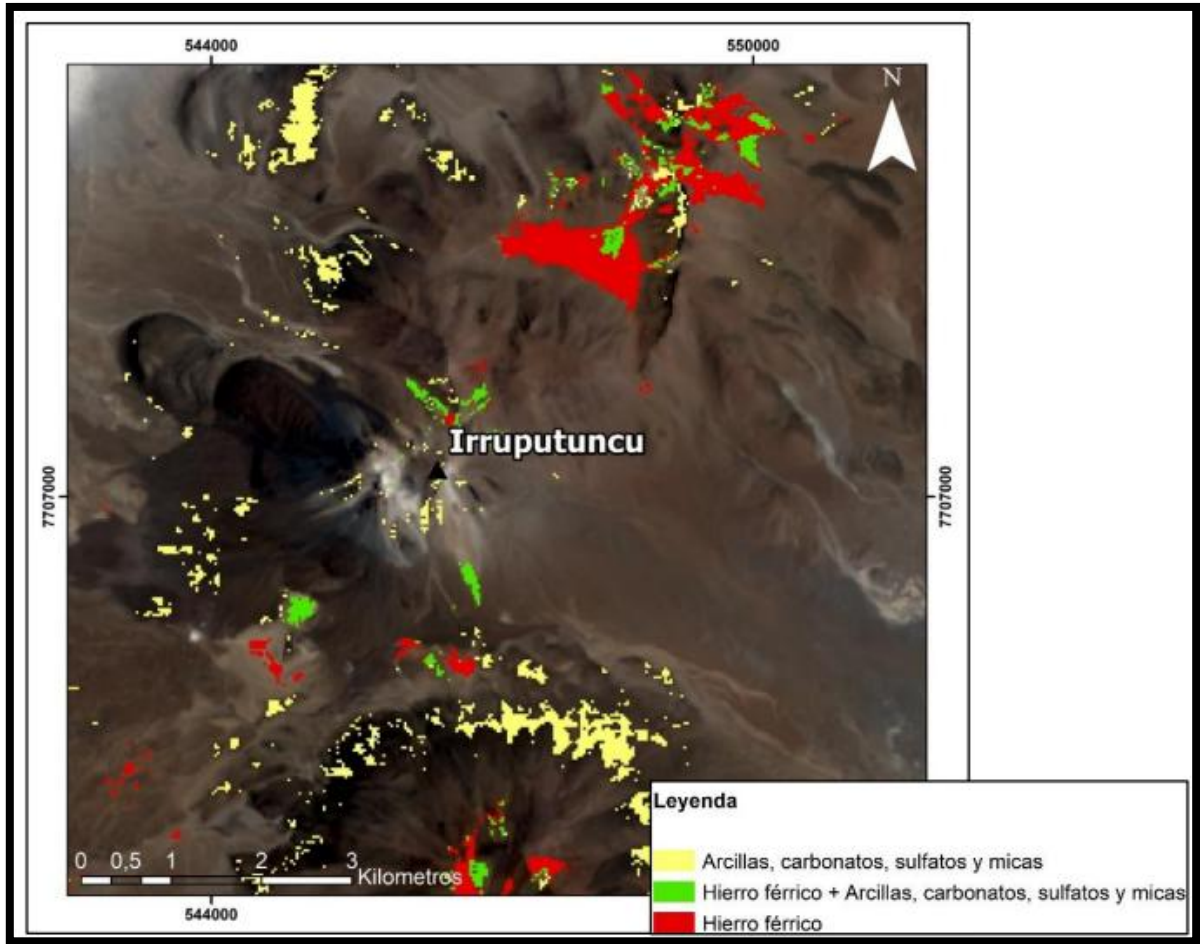


Ilustración 1.2 Composición de materiales Volcán Irruputuncu (Fuente: Memoria “ANÁLISIS ESPECTRAL REMOTO DE MINERALES ASOCIADOS A LOS VOLCANES OLCA E IRRUPUTUNCU”)

En el sector agroalimentario, la NASA y el Servicio de Investigación Agrícola del USDA (ARS) han desarrollado sensores hiperspectrales para supervisar de manera automatizada el estado de salud de cultivos hortícolas en cámaras de crecimiento de ciclo cerrado destinadas a futuras misiones espaciales tripuladas. Las plantas sometidas a condiciones de estrés por sequía o patógenos muestran variaciones en su contenido de clorofila y humedad interna antes de manifestar síntomas visibles al ojo humano o a cámaras RGB convencionales.

Al combinar análisis espaciales de textura foliar con firmas espectrales detalladas, los algoritmos diferencian anomalías patológicas severas de imperfecciones superficiales benignas, permitiendo la intervención localizada. En aplicaciones industriales terrestres, este sistema automatiza la detección de contaminación fecal en frutas y hortalizas, inspecciona de

forma avícola la presencia de patologías sistémicas en líneas de procesamiento y detecta adulterantes o elementos extraños en ingredientes alimentarios en polvo.

2.2.2. MODELO BROWN AND GIBSON

El modelo de Brown y Gibson es un algoritmo jerárquico que sirve para seleccionar la ubicación óptima entre varias alternativas. Su gran valor reside en que evita que el decisor se deje llevar únicamente por lo más barato o únicamente por lo más "cómodo". El modelo funciona eliminando primero las opciones que no cumplen con requisitos mínimos y luego ponderando el peso del dinero frente a factores subjetivos como el clima laboral o la seguridad. Este modelo se desarrolla en 4 etapas:

La primera etapa consiste en la evaluación de los Factores Críticos (FC). Estos adoptan un valor binario (0 o 1), cuya función es excluir de forma inmediata cualquier alternativa que no satisfaga un requisito indispensable para el proyecto. Por ejemplo, si se define la disponibilidad de estacionamiento como una condición excluyente, aquellas opciones que carezcan de este atributo recibirán una calificación de 0, quedando automáticamente descartadas al anular el resultado final del modelo.

La segunda etapa se refiere a los costos anuales de cada ubicación (materia prima, mano de obra, transporte). Se calcula mediante la relación inversa de los costos, porque el que tiene menor costo debe tener el mayor puntaje.

$$FO_I = \frac{\frac{1}{C_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}}$$

Ecuación 5 Cálculo del Factor Objetivo

- Donde C_i Es el costo total de la localización.

La tercera etapa consiste en el cálculo de los Factores Subjetivos (FS), los cuales representan variables cualitativas de la localización. En esta fase, se determina la importancia relativa de cada atributo para establecer una jerarquía de predominancia y evaluar su impacto específico dentro del contexto del proyecto.

Primero se debe decidir qué factores subjetivos importan (ej. clima, seguridad, leyes locales) y qué relevancia tiene uno sobre otro, para esto se crea una matriz donde los factores se enfrentan entre considerando la siguiente regla de asignación:

- Si el factor A es más importante que el B: 1 para A y 0 para B.
- Si son igual de importantes: 1 para ambos.
- Se suma el puntaje de cada factor y se divide por la suma total para obtener su peso relativo (W_i).

A continuación, se presenta una matriz ejemplo:

Factor	Seguridad	Clima	Infraestructura	Total	Peso (W_i)
Seguridad	-	1	1	2	0.50
Clima	0	-	1	1	0.25
Infraestructura	0	1	-	1	0.25
Sumatoria				4	1.00

Tabla 1.3 Ejemplo matriz de asignación

Cabe destacar que en cada fila de la matriz se comparan únicamente 2 factores entre sí, por lo que a más factores subjetivos más comparaciones serán necesarias.

Una vez establecida la relevancia de los factores subjetivos, se procede a comparar qué localización satisface mejor cada atributo. Este paso consiste en replicar la estructura matricial para cada factor, permitiendo una evaluación directa y comparativa entre las distintas alternativas de ubicación. La siguiente Matriz ejemplifica una comparación entre 3 zonas para el factor subjetivo i

Clima	Zona A	Zona B	Zona C	Suma	Índice (R _i)
Zona A	-	0	1	1	0.33
Zona B	1	-	1	2	0.67
Zona C	0	0	-	0	0.00
Total				3	1.00

Tabla 1.4 Ejemplo calculo del índice R_i (Puntaje de cada localización para el factor subjetivo i)

Teniendo estas dos matrices en consideración, el cálculo de los factores objetivos se calcula de la siguiente forma:

$$FS_j = \sum_{i=1}^n (R_{ij} \cdot W_i)$$

Donde:

- R_{ij} es la calificación de la alternativa j respecto al factor i
- W_i es el peso del factor específico i

Finalmente se calcula la medida de preferencia de localización según la siguiente formula:

$$MPL_j = FC_j[k(FO_j) + (1 - k)FS_j]$$

2.2.3. EVOLUCION DE LOS CONCEPTOS

El origen de los drones, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés), se remonta a fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX, cuando se exploraban formas de automatizar el vuelo con fines militares. Uno de los primeros prototipos fue el “Kettering Bug”, desarrollado en 1918 en Estados Unidos como un misil no tripulado guiado por temporizador. Sin embargo, su uso fue limitado y el proyecto quedó archivado tras la Primera Guerra Mundial (Clothier et al., 2011).

Durante la Guerra Fría, el uso de drones se consolidó en el ámbito militar. UAV como el Ryan Firebee y posteriormente el Predator (RQ-1) marcaron hitos tecnológicos relevantes. No obstante, fue recién a inicios del siglo XXI cuando los avances en microelectrónica, miniaturización de sensores, baterías de litio y navegación satelital (GPS) permitieron su democratización para usos civiles y comerciales.

En el ámbito agrícola, el uso de drones comenzó a masificarse hacia mediados de la década de 2010, particularmente en Asia y Estados Unidos, con fabricantes como DJI, Yamaha y Parrot liderando la industria. Esta evolución tecnológica no solo redujo los costos de adquisición, sino que también permitió incorporar herramientas como cámaras multiespectrales, sensores térmicos, GPS RTK y software de mapeo y análisis geoespacial, facilitando su integración en la agricultura de precisión (Zhang & Kovacs, 2012; Matese et al., 2015).

Actualmente, los drones agrícolas permiten realizar tareas como fumigación, siembra dirigida, monitoreo de salud vegetal, mapeo de suelos, cálculo de índices de vegetación (NDVI, SAVI) y generación de modelos digitales de elevación (DSM). Esto los convierte en

herramientas fundamentales en la llamada cuarta revolución agrícola, centrada en la digitalización y automatización de procesos.

2.3. PROPUESTA METODOLOGICA

2.3.1. ESTUDIO DE MERCADO

Según la metodología propuesta por Sapag Chain (2020), el estudio de mercado representa una etapa fundamental en la formulación de proyectos, ya que permite determinar si existe una demanda efectiva por el bien o servicio que se pretende ofrecer y si el proyecto está en condiciones de satisfacer esa demanda de forma competitiva. En el contexto de este trabajo de título, que busca evaluar la prefactibilidad de un servicio agrícola basado en el uso de drones (para actividades como fumigación, monitoreo o liberación de agentes biológicos), se aplicarán herramientas específicas que permitan caracterizar adecuadamente tanto la demanda como la oferta, así como proyectar la participación de mercado.

En primer lugar, se realizará una definición del servicio desde la perspectiva del usuario, identificando cómo los productores agrícolas perciben el uso de drones en relación con sus métodos actuales. Esta etapa permitirá comprender si el servicio es visto como un sustituto de tecnologías convencionales (como la fumigación manual o con tractor), un complemento, o una innovación deseada por su precisión y eficiencia. Esta herramienta, planteada por Sapag, busca centrar el diseño del servicio en el valor que el usuario percibe, lo cual es especialmente relevante en proyectos de base tecnológica.

Posteriormente, se desarrollará una segmentación del mercado, considerando criterios como el tipo de cultivo (por ejemplo, frutales, hortalizas), el tamaño del predio, la ubicación geográfica y el nivel de tecnificación del productor. Esta segmentación permitirá delimitar con mayor precisión el mercado objetivo y enfocarse en aquellos segmentos con mayor potencial de adopción tecnológica. Para el análisis de demanda y capturar la influencia de múltiples variables sobre el comportamiento de contratación del servicio, se aplicará un modelo de regresión lineal múltiple. Este modelo permitirá cuantificar la relación entre la

demanda del servicio (variable dependiente) y diversas variables explicativas, como el tipo de cultivo, la superficie del predio, el precio del servicio, la ubicación geográfica y el mes del año (para incorporar la estacionalidad mediante variables dummy).

2.3.2. ESTUDIO TECNICO

Este estudio abordará los aspectos técnicos relacionados con los drones, personal, materiales y maquinarias que se utilizarán en el proyecto. Se evaluarán las especificaciones técnicas de modelos avanzados, como el XAG P100, y su capacidad para realizar tareas de fumigación, monitoreo de cultivos y análisis de imágenes aéreas. Además, se estudiarán los sistemas de software necesarios para procesar los datos recogidos por los drones y generar informes útiles para los agricultores. También se analizarán los requisitos logísticos y operacionales, como la necesidad de infraestructura de almacenamiento, bases de datos y la capacitación de los operadores.

Junto con esto, también se utilizarán métodos como el de como el de Brown-Gibson para elegir la localización de las oficinas en caso de tener unas, estimar la cantidad de personas necesarias y los cargos que deben tener asignados en la empresa, este estudio asegurará que la tecnología utilizada sea adecuada para satisfacer las necesidades del mercado y proporcionar una solución al problema.

2.3.3. ESTUDIO ECONOMICO

La evaluación económica del proyecto consistirá en calcular los costos de inversión inicial, costos operacionales y los ingresos esperados por la prestación de servicios de drones agrícolas. Se analizarán los gastos asociados con la adquisición de drones, el mantenimiento de los equipos, y la capacitación del personal. Además, se proyectarán los ingresos basados en la demanda estimada del servicio obtenida del estudio de mercado. Mediante un flujo de caja y el análisis de rentabilidad, como el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno), se determinará la viabilidad financiera del proyecto y su capacidad para generar un retorno positivo para los inversores.

2.3.4. SENSIBILIZACION

La etapa de sensibilización busca evaluar cómo varían los resultados económicos del proyecto ante cambios en variables clave como la demanda proyectada, el precio del servicio, los costos operacionales, la inversión inicial y la tasa de descuento. Este análisis permite identificar cuáles factores tienen mayor impacto en la rentabilidad del negocio, utilizando indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Para ello, se aplicará un enfoque univariable, evaluando escenarios optimistas y pesimistas, y se complementará con herramientas gráficas como curvas de sensibilidad. Además, se analizarán diferentes combinaciones de servicios ofrecidos (fumigación, monitoreo, análisis de suelos) para determinar cuál estructura de ingresos aporta mayor estabilidad financiera. Como apoyo al análisis se podría utilizar el software RISK de Palisade, una herramienta que permite realizar simulaciones de Monte Carlo, análisis de riesgo y escenarios sobre hojas de cálculo Excel, lo que facilitará identificar la probabilidad de éxito del proyecto bajo distintos contextos.

2.4. REQUERIMIENTOS LEGALES

El marco regulatorio para la constitución y operación de una empresa de fumigación con drones en Chile se estructura bajo la competencia de dos organismos fiscalizadores fundamentales. En primer lugar, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), entidad encargada de normar la aeronavegabilidad y el uso seguro del espacio aéreo y, en segundo lugar, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), organismo rector de la normativa fitosanitaria y la correcta aplicación de plaguicidas en el sector agrícola.

2.4.1. NORMATIVA DGAC

Para garantizar la seguridad operacional y el cumplimiento normativo ante la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), es necesario identificar los instrumentos legales específicos que rigen la actividad. El marco regulatorio se estructura en base a Normas Técnicas Aeronáuticas (DAN) y Reglamentos Aeronáuticos (DAR). Para efectos de una empresa de servicios aéreos mediante RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), la operación se subordina principalmente a lo establecido en la DAN 151, norma rectora para operaciones de drones en asuntos de interés público, complementariamente a la DAN 91, que dicta las reglas generales del aire. Asimismo, al poseer los equipos la calidad jurídica de aeronaves, les son aplicables reglamentos transversales como el código aeronáutico (Reglas del juego y registro de matrícula), el DAR 91 (Reglas de Vuelo y Operación General) respecto a la responsabilidad del piloto, y el DAR 51, que regula los procedimientos infraccionales. A continuación, se detalla el alcance y las exigencias de cada una de estas normativas:

2.4.2. DAN 151

La DAN 151 es el instrumento legal que regula las operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) cuando estas se realizan con fines comerciales, corporativos o de servicio público, excluyendo explícitamente el uso puramente recreativo. Dado que la empresa de fumigación persigue un fin de lucro y presta servicios a terceros, se categoriza bajo el concepto de "Operación de Interés Público", quedando obligada al cumplimiento íntegro de

esta norma. En cuanto a lo que tiene que ver con la aeronave y el piloto, la normativa exige lo siguiente:

- Piloto: Todo piloto que manipule el dron de fumigación debe contar con una Credencial de Piloto a Distancia vigente, otorgada por la DGAC.
- Licencia: Aprobar el examen teórico aeronáutico de la DGAC, ser mayor de 18 años y presentar una declaración jurada de salud compatible.
- Registro y Matricula: El equipo debe estar inscrito en el Registro Nacional de Aeronaves. Tras este trámite, se le asigna una matrícula (ejemplo: CC-Pxxx) que debe ser visible en el fuselaje.
- Tarjeta de operación: Documento que certifica que el dron específico cumple con los requisitos técnicos para volar.
- Peso máximo de despegue: La DAN 151 clasifica los drones por peso. Los drones de fumigación (generalmente sobre 9 o 25 kg cargados) entran en categorías que exigen mayores estándares de mantenimiento y revisión que un dron pequeño de fotografía.

Respecto a las limitaciones operacionales, la DAN 151 impone el régimen de vuelo VLOS (Visual Line of Sight), el cual obliga al piloto a mantener contacto visual directo y permanente con la aeronave. En cuanto a los márgenes espaciales, la norma fija un techo máximo de vuelo de 120 metros sobre el terreno y prohíbe estrictamente cualquier operación a una distancia inferior a 2 kilómetros de aeródromos o pistas de aterrizaje.

En Chile, la DAN 151 es la única normativa diseñada específicamente para regular el uso de drones o RPAS. Sin embargo, dado que estos equipos son considerados legalmente como aeronaves, su funcionamiento no se rige solo por esta norma. La operación queda sujeta también a otros reglamentos generales de la DGAC, los cuales definen responsabilidades y límites obligatorios para cualquier actividad aérea en el país. Estas serán analizadas posteriormente.

2.4.3. DAN 91: REGLAS DE VUELO Y OPERACIÓN GENERAL

La institución esta sujeta a la DAN 91 debido a que las unidades operan en un espacio aéreo compartido, lo que impone el deber de garantizar una convivencia segura con otras aeronaves y validar legalmente la acción de asperjar sustancias. Esta norma no solo regula el tránsito, sino que es la base legal que permite la actividad comercial de aplicación aérea bajo condiciones controladas.

Específicamente, la ley nos obliga a tomar precauciones extremas al liberar productos, tal como lo estipula la Regla 91.101 en su inciso “C” (Operaciones aéreas especiales):

" Sólo con autorización de la autoridad aeronáutica y en las condiciones que establece la normativa específica de detalle, podrán realizarse las siguientes operaciones aéreas:

(1) Lanzamiento de objetos o rociado desde aeronaves."

Asimismo, para evitar colisiones, la Sección 91.103 (Prevención de colisiones) y las reglas de derecho de paso obligan a los pilotos a mantener vigilancia constante y ceder el paso inmediatamente a cualquier aeronave tripulada, estableciendo una jerarquía donde el RPA siempre tiene la menor prioridad de paso en el aire.

2.4.4. LEY 18916

Esta dicta las reglas legales del juego, pero el artículo de interés es el 37, este establece que ninguna aeronave en Chile (Rpas incluida dentro de esta categoría) puede volar sin su debida inscripción, ya sea en de matrícula Chilena o extranjera:

"Ninguna aeronave podrá circular en el espacio aéreo chileno si no está debidamente matriculada en Chile o en otro país"

En el caso de los drones la inscripción esta un tanto simplificada, estando los requerimientos escritos en el capítulo C de la Dan 151, la Ilustración 8.1 del anexo, muestra la ficha de inscripción oficial.

2.4.5. NORMATIVA SAG

El cumplimiento de la normativa SAG busca mitigar riesgos críticos como la deriva de productos químicos hacia zonas pobladas, la intoxicación de operarios y el daño a polinizadores, estableciendo un marco rígido sobre quién puede aplicar y bajo qué condiciones ambientales se debe ejecutar el servicio.

El mandato jurídico que obliga a realizar este trámite emana del Decreto Ley N° 3.557 de 1980 (Ley de Protección Agrícola). Este cuerpo legal faculta al SAG para regular, restringir y fiscalizar el uso de pesticidas en el territorio nacional.

2.4.6. INSCRIPCIÓN DE LA EMPRESA (SAG)

La formalización de una empresa trasciende la constitución legal ante el SII, exigiendo una validación técnica específica para operar legalmente en el rubro. El mandato jurídico principal emana del Decreto Ley N° 3.557 de 1980 (Ley de Protección Agrícola), cuerpo legal que obliga a toda entidad que preste servicios de fitosanidad a terceros a inscribirse en el Registro de Empresas de Aplicación Terrestre y Aérea del SAG. Como requisito previo indispensable a esta solicitud, la normativa exige que la empresa cuente con un respaldo profesional superior, no bastando únicamente con la disponibilidad de pilotos certificados. La ley obliga a la designación formal de un Asesor Técnico (generalmente un Ingeniero Agrónomo), quien asume la responsabilidad técnica ante el organismo fiscalizador mediante una declaración jurada, garantizando la correcta ejecución de los procedimientos agronómicos críticos de la compañía.

El procedimiento administrativo para materializar esta autorización se denomina Declaración de Inicio de Actividades para Empresas de Aplicación de Plaguicidas. Este trámite debe gestionarse presencialmente ante la oficina sectorial del SAG correspondiente al domicilio comercial de la empresa, utilizando como instrumento oficial el Formulario de Solicitud de

Inscripción. En este documento, que tiene carácter de declaración jurada, la compañía está obligada a individualizar su infraestructura y capacidad operativa. Esto implica declarar la ubicación exacta de las bodegas de plaguicidas (que deben contar previamente con resolución sanitaria), presentar la nómina de aplicadores con su credencial SAG vigente y, fundamentalmente, detallar la maquinaria a utilizar, identificando cada dron de la flota por su marca, modelo y número de serie para su catastro oficial.

2.4.7. RESOLUCIÓN N°3670

Una vez inscrita la empresa, la ejecución diaria de los servicios de fumigación no queda al arbitrio del operador, sino que está estrictamente regulada para minimizar el impacto ambiental. La normativa que rige el "cómo" se debe aplicar es la Resolución Exenta N° 3.670 de 1999, la cual establece las normas para la evaluación y autorización de plaguicidas, y dictamina las condiciones de seguridad en las aplicaciones aéreas y terrestres para evitar la deriva (el desplazamiento del químico fuera del objetivo).

Bajo el amparo de esta resolución, la operación está obligada a respetar límites meteorológicos críticos. La norma establece que está prohibido realizar aplicaciones cuando la velocidad del viento supere los rangos de seguridad (generalmente entre 10 y 15 km/h, dependiendo de la toxicidad del producto), o cuando las condiciones de temperatura y humedad favorezcan la evaporación rápida. Esto obliga a la empresa a contar con anemómetros en terreno y suspender legalmente cualquier vuelo si las condiciones climáticas propician que el plaguicida afecte a predios vecinos.

Asimismo, esta resolución impone la obligación de respetar Franjas de Seguridad respecto a áreas sensibles. La ley prohíbe aplicar el producto directamente en los bordes colindantes con casas, escuelas, cursos de agua o zonas de pastoreo animal. Adicionalmente, se exige un protocolo de comunicación estricto, la empresa debe notificar a los vecinos y, fundamentalmente, a los apicultores ubicados en un radio cercano con al menos 48 horas de anticipación, para permitir el resguardo de las colmenas y evitar la mortalidad de abejas, cumpliendo así con el espíritu de protección ambiental del SAG.

2.4.8. PERSONAL E INSUMOS

La legalidad de la operación también depende de la certificación individual del personal y de la naturaleza de los insumos químicos utilizados. En cuanto al capital humano, la Resolución Exenta N° 2.195 del 2000 establece los requisitos para los aplicadores de plaguicidas en el ámbito rural. Esta normativa obliga a que todo operario que manipule la carga del dron o realice la mezcla posea la Credencial de Aplicador de Plaguicidas vigente. Es importante destacar que la licencia de piloto de la DGAC no sustituye este documento, son habilitaciones complementarias y obligatorias por separado.

Finalmente, en relación con los insumos, el marco regulatorio del Decreto Ley N° 3.557 (Ley de Protección Agrícola) restringe a utilizar exclusivamente productos que cuenten con Registro SAG vigente. Esto implica que la empresa tiene prohibido el uso de químicos no autorizados, vencidos o re-ensados sin su etiqueta original. Jurídicamente, la "Etiqueta del Producto" se considera un documento legal; por tanto, la empresa está obligada a seguir al pie de la letra las instrucciones de dosificación, equipo de protección personal y periodos de reingreso (carencias) que allí se estipulan. Ignorar la etiqueta no es solo una falta técnica, sino una infracción directa a la ley sancionable por el SAG.

3. ESTUDIO DE MERCADO.

3.1. Definición del Servicio.

La idea de esta organización es ofrecer un servicio integral a los huertos agrícolas de la zona central, que comprenda desde la evaluación de los cultivos hasta la aplicación de insumos agrícolas. En una primera etapa, se utilizarán sensores multiespectrales, los cuales permiten generar mapas de índices vegetativos (como NDVI, GNDVI y SAVI) que facilitan la medición del vigor, la biomasa y la salud general de los cultivos. Estos sensores también posibilitan la detección temprana de plagas y enfermedades a partir de cambios en la

reflectancia de las hojas, la identificación de deficiencias nutricionales específicas y el mapeo de la heterogeneidad dentro de un mismo predio.

De forma complementaria, se integrarán sensores térmicos, capaces de medir la radiación infrarroja emitida por la superficie de las plantas. Con ello se obtiene información sobre el estado hídrico de los cultivos, la uniformidad del riego, la localización de sectores con exceso o déficit de agua y la detección indirecta de estrés provocado por factores bióticos o abióticos.

En una segunda etapa, la información recopilada permitirá definir la aplicación dirigida de productos agrícolas (fertilizantes, pesticidas, fungicidas u otros), seguida por un monitoreo posterior para evaluar la eficacia de las medidas implementadas, mediante la comparación de los resultados obtenidos en las distintas fases del servicio.

3.2. Proyección de la demanda

La metodología seleccionada para la proyección de demanda responde a las limitaciones de información pública desagregada para el mercado de servicios con Drones agrícolas en Chile. Si bien existen antecedentes generales del sector, la carencia de datos históricos específicos y continuos para este subsector restringe la viabilidad de modelos de proyección de tendencia directa. Es por este motivo que se elige una metodología de proyección derivada, la cual se basa principalmente en predecir las hectáreas que se cultivaran en el horizonte 2025 – 2030. Posteriormente, mediante la aplicación de coeficientes técnicos y criterios de segmentación de mercado, se depurará dicha proyección para cuantificar el mercado disponible y la demanda objetivo del proyecto.

3.2.1. PRUEBA ESTADÍSTICA SERIE DE TIEMPO

Para realizar la proyección de demanda se utilizará el método de Holt-Winters, este es explicado en detalle en el capítulo dos. Para efectos de cálculo se utilizará el software Restudio. En cuanto a los datos, estos fueron obtenidos del INE junto al catastro vinícola, estos representan la superficie total de Ha plantadas en Chile, los datos son presentados de manera formal en la Tabla 8.1 del anexo.

Como paso preliminar, es necesario validar que los datos presentados en la Tabla 8.1 cumplan con los supuestos estadísticos que considera el modelo. Esta validación Garantiza que tanto la proyección puntual como los intervalos de confianza resultantes sean matemáticamente fiables. Al igual que en otros modelos predictivos de series de tiempo, se requiere verificar las siguientes condiciones en los residuos (errores) del modelo:

- Inesgadez (Media Cero): La media de los residuos ($\bar{x}$) debe ser estadísticamente igual a 0. Esto asegura que no exista un sesgo sistemático en las proyecciones (sobreestimación o subestimación). Para esta validación, se utiliza la prueba t-Student (t-test) en el software R.
- Independencia (No Autocorrelación): Los errores deben ser independientes entre sí, es decir, el error en un periodo no debe estar correlacionado con los errores de periodos anteriores. Esto se verifica mediante la prueba de Ljung-Box.
- Homocedasticidad (Varianza Constante): La varianza de los residuos debe mantenerse estable a lo largo del tiempo, sin verse afectada por la magnitud de los datos. Para confirmar esto, se aplica la prueba de Breusch-Pagan."

Estas pruebas operan mediante tests de hipótesis estadística. A diferencia de los contrastes habituales donde se busca evidencia para rechazar la hipótesis nula H_0 , en la validación de residuos buscamos fallar en rechazar la H_0 . Esto se debe a que H_0 plantea que el modelo cumple con los supuestos requeridos. Por consiguiente, se considerará que el modelo aprueba la validación siempre que el p-value resultante sea mayor a 0,05.

Prueba	p-value
Inesgadez	0,974
Independencia	0,024
Homocedasticidad	0,470

Tabla 3.1 Tabla con los resultados de las pruebas estadísticas (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede deducir de la Tabla 3.1 se detectó la presencia de Autocorrelación Serial en los residuos. Esto indica que los errores del modelo no son independientes, sino que mantienen un patrón sistemático o “memoria” que el algoritmo no ha logrado capturar debido a la naturaleza no lineal del crecimiento de la demanda. Desde la perspectiva de la evaluación

de proyectos, utilizar un modelo autocorrelacionado invalida los intervalos de confianza, ya que subestima la acumulación del error en el tiempo, entregando una falsa sensación de precisión. Para corregir esta estructura y linealizar la garantizando la independencia estadística de las proyecciones, se hace obligatorio someter la serie de datos original a una Transformación Logarítmica Natural. Este procedimiento matemático consiste en calcular el logaritmo de cada observación tal y como muestra la siguiente ecuación:

$$Y_t^1 = \ln(Y_t)$$

Ecuación 3.1

Esto altera la escala de medición de la serie comprimiendo los valores extremos. La aplicación de esta técnica se justifica principalmente por su capacidad para estabilizar la varianza (homocedasticidad) y linealizar tendencias exponenciales, al penalizar las fluctuaciones de mayor magnitud, el logaritmo suaviza la dispersión de los datos, permitiendo que el modelo capture el comportamiento estructural de la demanda sin verse sesgado por la volatilidad creciente. De esta forma, si volvemos a aplicar el análisis los p-value toman los siguientes valores:

Prueba	p-value (Transformada Ln)
Inssegadez	0,262
Independencia	0,747
Homocedasticidad	0,505

Dados estos resultados, es posible concluir que nuestros nuevos datos cumplen todas las condiciones estadísticas para aplicar el modelo de predicción propuesto.

3.2.2. PROYECCIÓN HECTÁREAS CULTIVADAS HORIZONTE 2025 – 2030

Posterior a la transformación de los datos, se procedió a la aplicación del modelo de Holt-Winters. Es importante destacar que, dada la periodicidad anual de la serie histórica disponible, la búsqueda de patrones estacionales carece de sustento teórico. Por esta razón, se configuró el algoritmo erradicando el componente estacional, reduciendo la ejecución a un Suavizamiento Exponencial Doble (Método de Holt). Esta adaptación evita el sobreajuste por ciclos inexistentes y concentra la capacidad predictiva del modelo en capturar la

estructura de largo plazo. A continuación, se presentan los resultados del modelo de predicción:

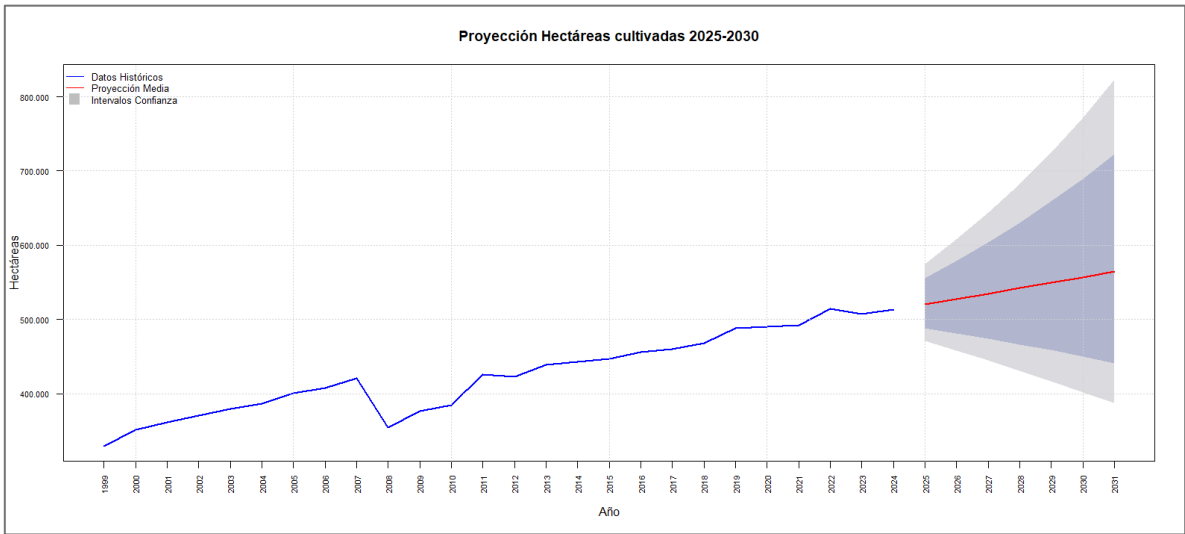


Gráfico 3.1 Proyección hectáreas cultivadas (Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE)

El Gráfico 3.1 presenta la proyección del crecimiento de hectáreas cultivadas en Chile. La línea azul ilustra el comportamiento de los datos históricos, mientras que la línea roja señala la tendencia pronosticada para el periodo 2025-2031. Las áreas sombreadas representan los intervalos de confianza. Debido a la incertidumbre inherente a toda predicción futura, en lugar de afirmar un valor único exacto (por ejemplo, 419.313 Ha para 2027), el modelo establece un rango probabilístico dentro del cual se espera que se encuentre el valor real con un 95% de confianza. A continuación, se muestran en la Tabla 3.2 los resultados del estudio:

Año	Crecimiento medio	Límite inferior 80%	Límite superior 80%	Límite inferior 95%	Límite superior 95%
2.025	520.437	487.782	555.279	471.334	574.657
2.026	527.547	480.796	578.844	457.748	607.989
2.027	534.754	473.730	603.639	444.297	643.627
2.028	542.059	466.281	630.153	430.554	682.443
2.029	549.464	458.369	658.664	416.429	725.000
2.030	556.971	449.989	689.386	401.945	771.788

Tabla 3.2 Resultados del modelo Holt (Fuente: Elaboración propia)

Analizando los resultados, se podría decir que en el caso más pesimista las hectáreas cultivadas para el año 2027, tomando como referencia las 512822 [Ha] del 2024, bajarían en

un 13% y al año 2030 un 20% aproximadamente. Por otro lado, si tomamos el crecimiento medio esperado tendríamos que para el año 2027 el crecimiento sería de un 4,2% y para el 2030 de un 8%. Para una mayor apreciación del futuro cercano se presenta un gráfico con una curva normal la cual muestra de mejor manera las posibilidades de crecimiento para el año 2027.

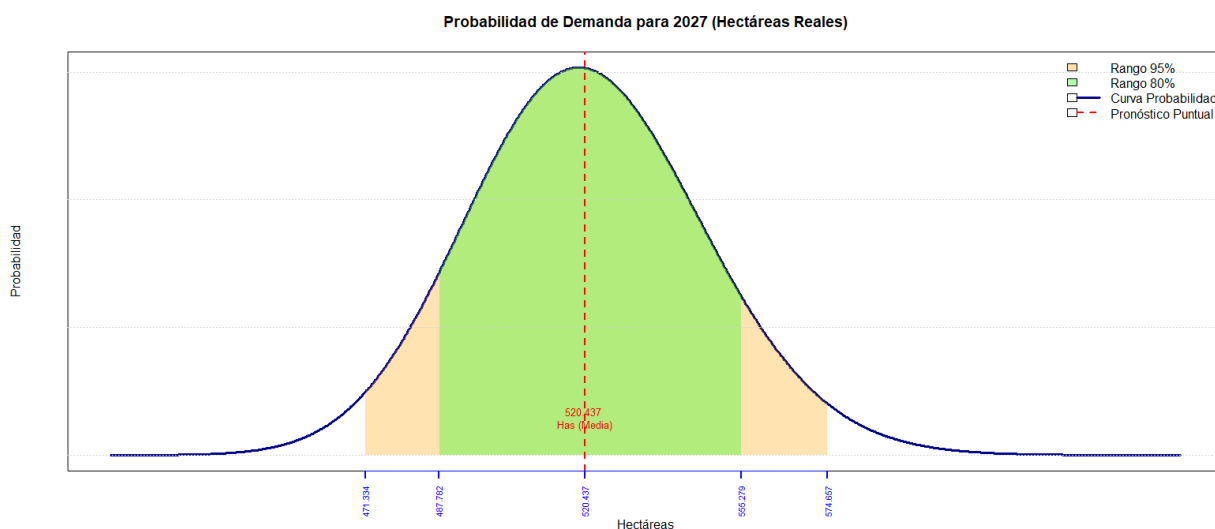


Gráfico 3.2 Curva Normal posibles hectáreas año 2027 (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, como conclusión general de esta sección, se puede decir que existe una tendencia al alza del crecimiento medio de las hectáreas cultivadas en el país, sin embargo, este estudio solo nos dice que la superficie agrícola en Chile tiende a crecer y dado que, lo que se necesita saber son las hectáreas que podrá absorber el proyecto la siguiente etapa se enfocará en obtener la oferta proyectada a partir de los datos obtenidos aquí.

3.2.3. HECTÁREAS FUMIGADAS

En la sección anterior se estimó la proyección de hectáreas cultivadas durante los años de operación del proyecto. Aunque este indicador es una variable de peso, no constituye la cifra definitiva para el flujo de ingresos, ya que el número de hectáreas existentes no equivale al número de hectáreas que requieren servicio. El verdadero mercado potencial radica en la cantidad de aplicaciones necesarias por temporada (hectáreas fumigadas). Para el cálculo de este valor se utiliza la Tabla 3.3 la cual muestra el porcentaje en que se plantaron las 18

especies más importantes del país en términos de hectáreas cultivadas (correspondientes al 95,99%¹¹ de la plantación total nacional), también muestra la frecuencia total de aplicaciones fitosanitarias aproximadas que requiere cada especie. Es importante destacar que la intensidad de este calendario fitosanitario es una decisión estratégica del productor para mitigar riesgos, organismos fiscalizadores como el SAG priorizan el resultado fitosanitario (estándar de 'Tolerancia Cero' en exportaciones) por sobre el método operativo. Bajo este criterio, la detección de un solo espécimen (ej. larva) puede detonar el rechazo de un lote completo, obligando a los dueños de cultivo a mantener coberturas preventivas constantes.

Especie	Porcentaje de ocupación	Numero de aplicaciones
Almendro	1,67%	6
Arándano americano	3,42%	12
Avellano	7,30%	4
Cerezo	14,17%	15
Ciruelo europeo	2,68%	10
Duraznero tipo conservero	1,02%	10
Kiwi	1,40%	8
Limonero	1,99%	9
Mandarino	2,49%	9
Manzano rojo	4,56%	15
Naranja	1,44%	9
Nectarino	1,51%	11
Nogal	8,67%	6
Olivo	4,03%	4
Palto	6,62%	5
Peral	1,06%	14
Vid de mesa	6,66%	16
Vid	25,31%	9

Tabla 3.3 Porcentaje de cultivo y frecuencia de aplicaciones fitosanitarias (Fuentes: Catastro frutícola, Programa Nacional Lobesia botrana, calendario fitosanitario Point Chile)

En base a estos datos, y tomando los valores de crecimiento medio de la Tabla 3.2 podemos hacer una nueva tabla que indique la proyección total de demanda de fumigación en Chile para los años de estudio.

¹¹ Fuente: ODEPA. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/73635/RegionAtacama.pdf>

¹¹ Fuente: ODEPA. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Informe%20ejecutivo%20Catastro%202024.pdf>

Año	Hectáreas fumigadas
2025	4838606,846
2026	4904709,937
2027	4971714,857
2028	5039630,903
2029	5108476,668
2030	5178270,748

Tabla 3.4 Proyección hectáreas fumigadas. (Fuente: Elaboración propia)

3.2.4. BENCHMARKING, HECTÁREAS CAPTADAS POR DRONES EN CHILE Y POR EL PROYECTO.

La estimación de demanda final del proyecto se estructura bajo el modelo de segmentación TAM-SAM-SOM. Esta metodología permite aterrizar las cifras totales del mercado (en este caso la Tabla 3.4) del sector agrícola a una proyección de ventas realista, filtrando primero el mercado total de fumigaciones (TAM) hacia aquellas hectáreas donde el dron posee una ventaja competitiva técnica (SAM), para finalmente establecer la cuota de mercado efectiva que el proyecto es capaz de atender operativamente (SOM).

Como primer paso del análisis de demanda, se cuantificó el Mercado Total Disponible (TAM). Este indicador representa la demanda teórica máxima del sector, calculada bajo el supuesto de que la totalidad de la superficie proyectada requiera servicios de aplicación fitosanitaria externa en todas sus frecuencias anuales.

Para obtener este valor, se cruzaron los datos de la proyección de superficie cultivada (calculada en el apartado anterior) con la matriz de frecuencias de aplicación por especie (Tabla 3.3). La sumatoria de estos productos nos entrega la Demanda Agregada en Hectáreas que refleja la carga de trabajo real que soporta la industria agrícola regional anualmente.

Una vez calculado el TAM (demanda teórica total), es necesario depurar la cifra para identificar el mercado que es realmente accesible para la tecnología de drones. Para ello, se ha realizado un análisis comparado de tendencias internacionales que permite establecer parámetros de penetración válidos para la realidad chilena:

- Asia (China/Japón): Según el reporte DJI Agriculture Insight 2023/24¹², la flota mundial de drones ha superado los 500 millones de hectáreas operadas acumuladas. La experiencia asiática demuestra que en zonas de parcelación fragmentada (similar a la zona central de Chile), la logística aérea es superior a la maquinaria terrestre. Además, validan una reducción del 90% en el uso de agua, un factor crítico de sostenibilidad.
- Europa (UE): En la Unión Europea, regulaciones estrictas han fomentado el uso de drones en "Viñedos de Ladera" (steep slope viticulture) para reemplazar tractores en terrenos con riesgo de volcamiento. Esto sienta el precedente para la adopción en cultivos chilenos de precordillera y laderas (como paltos y cítricos).
- Brasil: Según el levantamiento oficial del SINDAG (Sindicato Nacional de Empresas de Aviación Agrícola), la flota de drones agrícolas en Brasil era de 7800 aeronaves operativas a inicios del 2025 lo que con respecto al año pasado figura como un aumento del 100%.¹³

En general la información internacional muestra que en mercados maduros como el de Asia (Principal origen esta tecnología) la adopción esta “Consolidada”, por ejemplo, en China un poco más del 30%¹⁴ de todos los cultivos son fumigados con dron, mientras que en mercados más jóvenes como el latinoamericano esta al alza, sobre todo en países de alta producción agrícola como Brasil, Colombia o Chile.

En la Tabla 8.2 se proyecta la penetración del servicio de fumigación con drones basándose en el destino comercial de cada cultivo. Un ejemplo de diferenciación en programas fitosanitarios es el contraste entre la Vid de Mesa y la Vid Vinífera.

Aunque se trata de la misma planta, sus exigencias de mercado son opuestas. La Vid de Mesa, al ser un producto de consumo fresco y mayoritariamente de exportación, se rige por criterios

¹² Fuente: Informe DJI agriculture. https://www-cdn.djiits.com/cms_uploads/ckeditor/attachments/9191/508d08998272fa45f44460ab514195da.pdf

¹³ Fuente: SINDAG. https://sindag.org.br/noticias_sindag/agrishow-o-brasil-deve-chegar-a-3-mil-aeronaves-agricolas-ja-em-2026/

¹⁴ Fuente: <https://cleantechnica.com/2025/12/11/drones-diesel-policy-two-countries-two-agricultural-futures/>

estéticos estrictos, el consumidor final exige una fruta visualmente impecable, donde cualquier defecto superficial, daño mecánico o signo de insectos implica su rechazo inmediato. En cambio, la Vid Vinífera tiene un destino agroindustrial; al ser procesada para la producción de vino, lo prioritario es la calidad química del jugo y no la belleza del racimo. Esta diferencia explica por qué los productores de uva de mesa deben invertir en un calendario fitosanitario mucho más intensivo y preciso, convirtiéndose en usuarios prioritarios para la tecnología de drones.

Con el mercado disponible (SAM) ya identificado, el paso final es determinar la capacidad real de atención del proyecto (SOM). Basándonos en la ficha técnica del DJI Agras T30 (El cual se considera un modelo estándar en la industria), se ha validado la viabilidad técnica de capturar un 0,206% de la cuota de mercado durante el primer año de operaciones, lo que equivale a 10.000 hectáreas fumigadas el 2025. Para los años siguientes se utilizará la tasa de crecimiento de las hectáreas cultivadas, la cual es aproximadamente de un 1,5%. En la Tabla 3.5 se ve la proyección que captará la empresa en el horizonte de estudio.

Año de proyección	Cuota de mercado
AÑO 1	10000
AÑO 2	10150
AÑO 3	10302
AÑO 4	10457
AÑO 5	10614

Tabla 3.5 Proyección hectáreas captadas por la empresa

3.3. Análisis de la oferta.

Dentro del estudio de mercado es necesario analizar las empresas que actualmente entregan servicios iguales o similares a los que se proponen en este proyecto. En esta sección se revisarán tanto los oferentes directos (empresas que utilizan drones agrícolas para fumigación, monitoreo o análisis) como los oferentes indirectos, es decir, aquellos que ofrecen productos o métodos sustitutos que cumplen la misma función, tales como la fumigación con avionetas, tractores pulverizadores o aplicaciones manuales. El objetivo de este análisis es caracterizar la oferta existente y detectar posibles espacios de diferenciación para el proyecto.

3.3.1. OFERENTES DIRECTOS.

Empresa	Servicios	Flota	Regiones de operación	Especialización por cultivo
Dronetech	Fumigación, aplicación de químicos	DJI Agras T30	Base curico	Frutales, hortalizas, cultivos tradicionales, praderas
Soludrones	Fumigación, Fertilización y Dispersión sólidos	DJI Agras T50	Base en Santiago, no especifica region de operación	No especifica
AgroSmart Chile	Fumigación	DJI Agras (modelo no especificado públicamente)	Zona centro-sur	Huertos frutales, cultivos tradicionales, plantaciones forestales
SISAR / DronAgrícola	Fumigación	DJI Agras T16	Chile (no especifica regiones)	No especifica
Agridrones	Fumigación / Fertilización / Siembra / Venta equipos	DJI Agras T100, T50, T30	Chile (no especifica regiones)	Todo tipo de cultivos
Fumigadron	Venta equipos / Servicios (por confirmar)	DJI Agras (T10/T20/T40, catálogo)	Chile (no especifica)	Todo tipo de cultivos
Terra Drone	Fumigación	DJI Agras T30	Región de O'Higgins (foco)	No especifica

Tabla 3.6 Elaboración propia, comparación de empresas de fumigación (Fuente: sitio web de cada empresa)

En la Tabla 3.6 se presentan algunas de las empresas competidoras que ofrecen servicios similares a los considerados en este proyecto. Del análisis se observa que gran parte de estas organizaciones opta por diversificar sus servicios, incorporando no solo fumigación o monitoreo, sino también la venta de drones y equipamiento para distintos propósitos. Asimismo, se aprecia una tendencia a no limitarse a una zona geográfica específica, sino a cubrir la mayor extensión territorial posible dentro del país. En cuanto a la especialización en cultivos, la mayoría de las empresas no declara un foco exclusivo en un tipo de planta, sino que busca atender una amplia gama de especies, lo que resulta coherente con la versatilidad que ofrecen los drones frente a otros métodos tradicionales de aplicación de productos agrícolas.

El análisis de la flota de los oferentes directos muestra una marcada concentración en el uso de drones agrícolas de la serie DJI Agras, principalmente modelos T16, T20, T30, T40 y T50, con algunas menciones al T100 en catálogos recientes. Esta evolución refleja una tendencia hacia equipos con mayor capacidad de carga y eficiencia operativa, capaces de cubrir un número creciente de hectáreas por hora y de realizar aplicaciones tanto de líquidos como de sólidos. Es importante mencionar que la oferta en Chile está fuertemente estandarizada en una sola marca, tanto a lo que respecta a drones agrícolas como a drones para fotografía y otro tipo de trabajos, lo que facilita la disponibilidad de repuestos y entrenamiento, pero reduce la diversidad tecnológica del parque disponible. En contraste, a nivel internacional existen alternativas como la marca XAG, cuyas series P100 y V40 ofrecen prestaciones comparables en capacidad y autonomía, aunque su presencia en el mercado chileno es prácticamente nula en los oferentes identificados. Finalmente, si bien los drones equipados con cámaras multiespectrales y térmicas constituyen una herramienta de diagnóstico ampliamente utilizada en otros mercados para el monitoreo de vigor vegetal y el análisis del estado hídrico, en la oferta pública revisada en la zona central su uso aparece de manera limitada en comparación con los modelos de aplicación de agroquímicos.

3.3.2. OFERENTES INDIRECTOS

En cuanto a los oferentes indirectos, existe un abanico amplio de alternativas para la fumigación y el monitoreo, estos abarcan desde tractores con barras de pulverización, sistemas de riego y pulverización automatizados, nebulizadores para frutales, robots UGV inteligentes, cuadrillas manuales, además de aeronaves tripuladas (aviones y helicópteros). Cada opción presenta ventajas y desventajas en términos de eficiencia operativa, costos fijos y variables, precisión de aplicación, riesgo de deriva y requerimientos logísticos. La conveniencia de utilizar una u otra depende de las características del predio (superficie y continuidad de los paños, pendiente, accesibilidad y capacidad de carga del suelo, presencia de barreras o zonas sensibles), del tipo y etapa fenológica del cultivo, y de la ventana climática disponible. Así, mientras los equipos terrestres y el aeroaplicado tienden a ser más competitivos en superficies extensivas y homogéneas, los nebulizadores destacan en canopias densas de frutales y los robots ganan terreno en relieves complejos, parcelas medianas o re-aplicaciones localizadas. En suma, no existe un “mejor” universal, sino sustitutos con trade-offs que deben evaluarse caso a caso. Con el propósito de entender de mejor forma cómo funciona cada uno de estos se presenta un resumen.

- Robot UGV

Los robots terrestres no tripulados (UGV) funcionan mediante sistemas de navegación autónoma (RTK y LiDAR) que les permiten desplazarse de manera inteligente entre las hileras, siendo su objetivo principal los cultivos de alto valor, frutales de copa densa (vides, cerezos, manzanos) e invernaderos. Entre sus ventajas destacan la eliminación del riesgo de intoxicación para el operario, la capacidad de aplicar el producto desde abajo hacia arriba (mejorando la cobertura en el envés de las hojas) y la ausencia de deriva aérea (producida por viento en exceso o calor extremo) sin embargo, sus desventajas radican en un rendimiento operativo bajo, oscilando típicamente entre 2 y 6 hectáreas por hora¹⁵ dependiendo del ancho de la hilera y su dependencia de condiciones de terreno específicas, siendo eficaces casi exclusivamente en suelos planos, firmes y secos, ya que pierden tracción o se atascan

¹⁵ Fuente: Blog vilab, <https://www.vilab.cl/p/agricultura-digital>

fácilmente en pendientes pronunciadas, terrenos irregulares o suelos fangosos tras una lluvia.



Ilustración 3.1 Imagen robot aspersor Xag F150

- Turbo atomizador/Nebulizador

El turbo atomizador opera mediante una bomba hidráulica combinada con un ventilador axial que genera una turbulencia de aire para transportar las gotas y mover el follaje, siendo el método estándar para frutales de canopia densa y alta (cerezos, nogales, cítricos, paltos y vides) donde se requiere penetración profunda. Su principal ventaja es la capacidad de "bañar" completamente el árbol asegurando cobertura en el interior de la copa, sin embargo, sus desventajas críticas son la compactación del suelo (debido al alto peso del tractor y tanques de agua de aproximadamente de 2.000L), el consumo excesivo de agua (volúmenes de 1.000 a 2.500 L/ha)¹⁶ y la pérdida de producto por deriva o escurrimiento al suelo (run-off). Su rendimiento operativo real oscila típicamente entre 3 y 6 hectáreas por hora (dependiendo del ancho entre hileras y la velocidad de avance de 4-6 km/h), siendo eficaz exclusivamente en terrenos planos o de pendientes suaves con calles o "interfilas" bien definidas y suelo firme que soporte el tránsito de maquinaria pesada.

¹⁶ Fuente: INIA, <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/cd5dcf63-6b5a-469c-b16e-270e495a4427/content>



Ilustración 3.2 nebulizador

- La aviación agrícola tripulada se segmenta en aviones de ala fija y helicópteros, diseñados para cubrir grandes superficies en ventanas de tiempo críticas mediante aplicaciones de alto caudal y velocidad. El avión agrícola es la herramienta estándar para cultivos extensivos (arroz, maíz, trigo, forestal) en planicies continuas, destacando por su insuperable capacidad de trabajo de 50 a 120 hectáreas por hora¹⁷, aunque presenta limitaciones severas como la alta deriva, la necesidad de infraestructura aeroportuaria cercana y su inviabilidad económica en predios pequeños. Por su parte, el helicóptero se posiciona como una alternativa técnica para terrenos con topografía compleja, laderas pronunciadas y predios irregulares donde el avión no puede maniobrar de forma segura, su ventaja diferencial radica en el efecto downwash (viento descendente del rotor) que empuja el producto hacia el cultivo mejorando la penetración, logrando rendimientos de 20 a 60 hectáreas por hora, aunque su adopción masiva se ve frenada por tener el costo operativo (OPEX) más alto de todas las categorías debido al mantenimiento y combustible.

¹⁷Fuente: <https://www.infocampo.com.ar/costos-y-beneficios-de-los-aviones/#:~:text=En%20aviones%20a%20pist%C3%B3n%20por,se%20pueden%20cubrir%2045%20ha.>



Ilustración 3.3 Fumigación aeronave ala fija

Esta tabla utiliza como referencia de “fumigación estándar” la aplicación terrestre manual con mochilas (cuadrillas), respecto de la cual se contrastan alternativas mecanizadas, aéreas y robotizadas.

Respecto de costos, la comparación directa [\$/ha] no es homogénea porque algunos métodos se contratan como servicio y otros corresponden a activos cuyo costo debe amortizarse. Como referencia de mercado en Chile, el servicio con dron agrícola se encuentra reportado en el orden de \$12.000 CLP/ha (condiciones de operación específicas). En cambio, equipos como nebulizadores o pulverizadores de barra implican CAPEX que, a modo orientativo, va desde $\approx$ \$1,7–2,0 millones CLP en configuraciones básicas hasta decenas de millones en equipos de mayor capacidad, su costo unitario por hectárea resulta de prorratear amortización, combustible/energía, mantenimiento, mano de obra y ritmo de trabajo (ha/h) efectivos. Por lo anterior, la comparación económica requiere normalizar por:

- Sí es servicio vs. propiedad del equipo.
- Parámetros técnicos (L/ha, tamaño de gota, control de secciones/VRA)

- Condiciones del predio (superficie continua, pendiente, accesibilidad), que determinan el desempeño real y el costo total por hectárea.

4. ESTUDIO TECNICO

4.1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Para la organizar la selección de personal, la estructura se divide en dos segmentos. El primero corresponde al personal administrativo, definido como aquel que no interviene directamente en la operación. Su función consiste en gestionar procesos internos, tales como la toma de decisiones financieras, la planificación a mediano y largo plazo, la administración de los recursos humanos y la administración y vigilancia de la operación en las faenas. La descripción detallada de cada uno de los perfiles se encuentra en el Anexo.

En cuanto a la estructura organización se presenta a continuación:

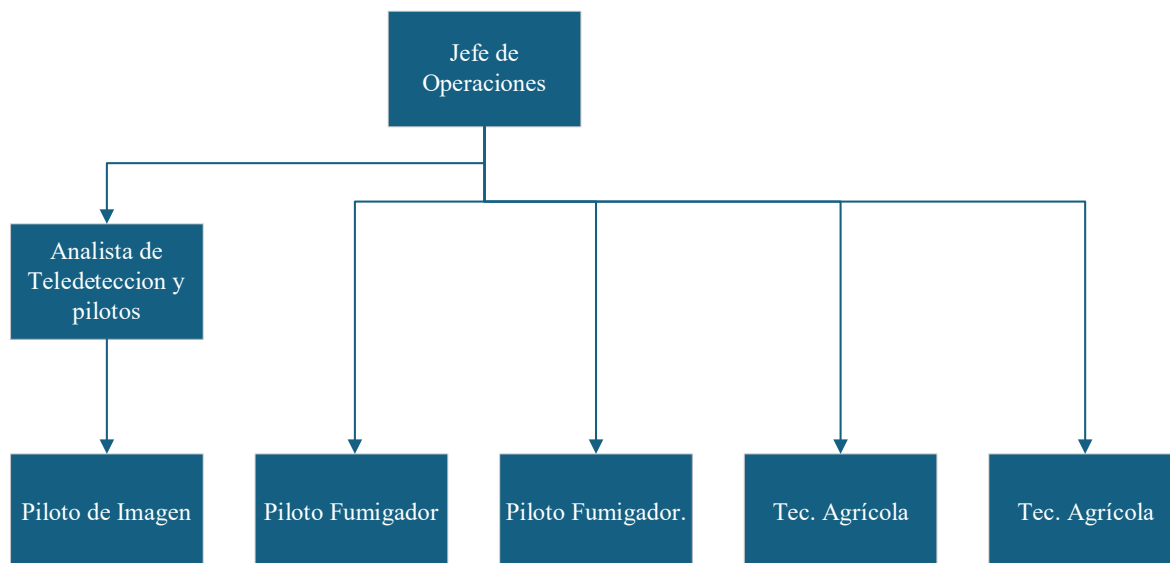


Ilustración 4.1 Diagrama organizacional

En relación con las funciones de soporte administrativo, específicamente las áreas de Recursos Humanos y Contabilidad/Finanzas, dada la naturaleza de la empresa (Pyme) se adoptará una estrategia de externalización. Esta decisión se fundamenta en la búsqueda de una estructura organizacional esbelta, reduciendo por ende el coste de personal adicional. En cuanto al coste de total de estos servicios se estima en un total de \$300.000¹⁸ a día de hoy.

4.2. VSM

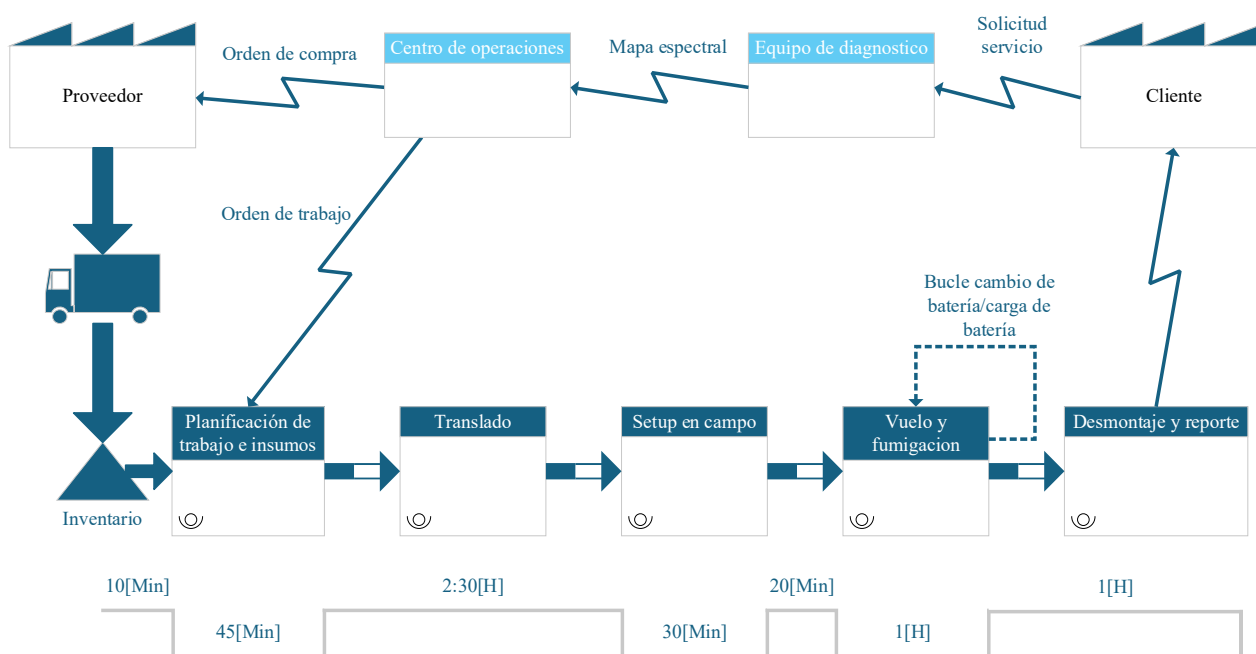


Ilustración 4.2 VSM Flujo de información y trabajo

Para entender de una mejor forma el flujo de valor de la institución se crea un VSM, esta herramienta trázca una operación de inicio a fin representada como un ciclo y se construye considerando tres dimensiones distintas, la primera es el flujo de información, representados por las flechas en forma de rayo, estas nos muestran como los diferentes actores de la operación se van traspasando información la cual puede ser resultado directo de un proceso,

¹⁸ Fuente: <https://www.simplificalo.cl/planes-contador/>

requerimientos del cliente o incluso requerimientos de la misma empresa hacia sus diferentes proveedores.

Por otro lado, existen dos tipos de flechas gruesas, aquellas de un solo color representan el traslado de insumos o mercancías necesarias para la ejecución del servicio, en este caso pueden ser químicos, repuestos para el dron, combustible etc.

Aquellas flechas bicolores representan el flujo del servicio de un proceso a otro, básicamente quieren decir que al terminar un proceso el servicio cambia a otra fase para ser nuevamente moldeado hasta ejecutar las necesidades del cliente.

En cuanto a los actores involucrados, estos son representados de dos formas, aquellos que conforman parte de un órgano de la empresa figuran como una caja con encabezado celeste, por otro lado, aquellos que son externos a la empresa como lo puede ser el cliente o un proveedor son representados como una caja con crestas en la parte superior.

En este caso en específico se tienen:

- Cliente: quien solicita el servicio
- Equipo de diagnóstico: organismo de la empresa encargado de captar las necesidades del cliente y asesorarlo mediante el estudio espectral.
- Centro de operaciones: organismo de la empresa encargado de gestionar todos los requerimientos administrativos y de gestión que se necesiten para la correcta operación.
- Proveedor: Quien provee los insumos necesarios para la operación, puede ser desde mantenimiento de las Rpas hasta los químicos necesarios para la fumigación.

La segunda dimensión del VSM corresponde al Flujo Físico (también llamada de procesos). En esta sección se detalla la secuencia operativa necesaria para materializar el servicio. Aunque una organización ejecuta múltiples actividades ya sean administrativas o de soporte, el VSM se focaliza exclusivamente en aquellos pasos que intervienen directamente en la cadena de transformación del servicio hacia el cliente final, esta secuencia de procesos se encuentra representada en el diagrama mediante las cajas con encabezado azul.

Finalmente, en la sección inferior del VSM se presenta la Línea de Tiempo (también llamada línea de las almenas). Esta gráfica escalonada permite distinguir visualmente la eficiencia del ciclo total mediante dos niveles:

- Los niveles superiores: Representan los Tiempos de No Valor Agregado. Corresponden a todas aquellas actividades que consumen tiempo y recursos, pero no transforman el servicio directamente, como esperas, preparaciones y traslados.
- Los niveles inferiores: Representan el Tiempo de Valor Agregado, es decir, los instantes donde se ejecuta la actividad principal por la cual el cliente

Un ejemplo claro de NVA en este modelo es el traslado al predio, si bien es una actividad mandatoria para ejecutar el servicio, no genera valor agronómico directo sobre el cultivo.

4.3. MAQUINARIA

4.3.1. SELECCIÓN RPAS Y MANTENIMIENTO

Establecida la estructura organizacional y los procesos de trabajo, se procede a la determinación de los activos técnicos requeridos para la ejecución del servicio. Para la configuración y selección de la flota de RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia), se establecen los siguientes requerimientos funcionales que condicionan la operación:

- Capacidad de Operación Simultánea: El sistema logístico y de hardware debe permitir la ejecución de faenas de aplicación en dos ubicaciones geográficas distintas de manera concurrente.
- Redundancia de Equipos (Backup): La flota debe contar con unidades de reemplazo disponibles para sustitución inmediata, con el fin de mantener la continuidad del servicio ante fallas técnicas o inoperatividad de una unidad principal.
- Continuidad Energética: La configuración de baterías y sistemas de carga debe permitir un ciclo de vuelo ininterrumpido durante la totalidad de la jornada laboral estipulada.

- Cobertura de la Demanda Proyectada: La capacidad operativa teórica y real de los equipos debe cubrir la superficie anual objetivo, ajustándose a la tasa de crecimiento de mercado definida para el horizonte de evaluación.

En cuanto a la marca, el segmento de drones de aplicación agrícola, la oferta tecnológica se estructura principalmente en torno a dos fabricantes, DJI Agriculture y XAG (XAircraft). Ambos poseen orígenes y enfoques corporativos diferenciados que definen su propuesta de valor y servicio.

DJI Agriculture opera como una división de negocios establecida en 2015 dentro de una compañía tecnológica fundada en 2006, la cual fabrica drones para diversos sectores (consumo, cine y empresarial). Su enfoque consiste en adaptar tecnologías de vuelo maduras hacia la industria agrícola. Por otro lado, XAG, fundada en 2007, centra sus operaciones exclusivamente en el sector de "Agricultura Inteligente" desde 2013, dedicando su desarrollo únicamente a la robótica agrícola y sistemas de gestión de cultivos, sin líneas de productos en otros sectores, en cuanto a la postventa, DJI mantiene el mayor volumen de unidades a nivel global, lo que sustenta una red amplia de distribuidores autorizados y centros de reparación estandarizados, generando disponibilidad de repuestos en el mercado general. XAG utiliza un modelo de distribución selectiva a través de representantes especializados en maquinaria agrícola, centrando su soporte técnico en canales específicos del rubro agroindustrial. Las marcas presentan filosofías constructivas distintas. Los equipos DJI utilizan una arquitectura integrada (diseño monocasco) donde los componentes electrónicos están sellados internamente para cumplir con estándares de protección IP67, priorizando la aerodinámica y la protección centralizada. En contraste, los equipos XAG emplean una arquitectura modular que permite separar físicamente la plataforma de vuelo de los sistemas de aplicación (tanques y bombas), diseño orientado a facilitar el desmontaje sin herramientas, el lavado directo con agua (IPX7) y el reemplazo de módulos individuales directamente en el campo.

Finalmente, en cuanto a la selección de la plataforma, la marca DJI Agriculture es quien mejor responde a la necesidad crítica de garantizar la continuidad del servicio ante

contingencias mecánicas. Dada lo desarrollado de su red de distribución y servicio técnico local, esta opción asegura tiempos de respuesta reducidos para la adquisición de repuestos y mantenimiento correctivo. Adicionalmente, la estandarización de sus sistemas de control favorece una curva de aprendizaje ágil, permitiendo una rápida adaptación de los operadores y facilitando la intercambiabilidad de recursos humanos entre las distintas células de trabajo. Para la selección del modelo se usará la siguiente tabla:

Modelo	DJI Agras T100	DJI Agras T70P	DJI Agras T50	DJI Agras T30	DJI Agras T25
Precio Kit Aprox. (CLP)	\$32.000.000	\$26.000.000	\$23.000.000	\$16.000.000	\$12.000.000
Capacidad	100 litros	70 litros	40 litros	30 litros	20 litros
Rendimiento (Ha/Hora)	28 - 30 ha/h	23 - 26 ha/h	18 - 21 ha/h	14 - 16 ha/h	10 ha/h
Año	2025	2025	2024	2021	2024
Logística	Tráiler	Tráiler	Tráiler	Camioneta	Camioneta

Tabla 4.1 Características técnicas Rpas en el mercado (Fuente: tiendas como Famagro o Dronespray)

A partir del análisis de la Tabla 4.1, se identifican tres niveles de solución diferenciados por capacidad y requerimientos de inversión. Dado que el modelo T100 excede significativamente la escala del proyecto y el T25 no alcanza los umbrales mínimos de productividad necesarios para la demanda proyectada, la evaluación comparativa se acotará exclusivamente a las plataformas T70P, T50 y T30.

El modelo T30 se presenta como la opción económica, sin embargo, su tecnología de 2021 conlleva una desventaja crítica en su ciclo de vida y valor residual frente a un proyecto de largo plazo. Por su parte, el T50 (40 litros) ofrece un equilibrio técnico interesante, pero ante un escenario de alta demanda, su capacidad operativa se sitúa en el límite, reduciendo el margen de maniobra ante imprevistos. En contraste, el modelo T70P lidera la categoría en rendimiento bruto (70 litros), resultando superior para extensiones masivas al reducir

significativamente la cantidad de vuelos y recargas necesarias por hectárea, lo que se traduce en una mayor eficiencia temporal crítica para la temporada alta.

Para los requerimientos específicos de este proyecto, se selecciona el DJI Agras T70P como la plataforma estándar. Esta elección se fundamenta en la necesidad de garantizar holgura operativa y mitigar el riesgo de incumplimiento ante la meta de 10.000 hectáreas anuales. A diferencia de opciones de menor envergadura, el rendimiento superior del T70P permite absorber retrasos por ventanas climáticas adversas sin saturar la capacidad de la flota.



Ilustración 4.3 Imagen T70 P

Para el levantamiento de información espectral, se ha seleccionado la plataforma DJI Mavic 3 Multispectral (M3M), fundamentando su elección en su arquitectura de sensores híbrida que permite la adquisición simultánea de datos topográficos y radiométricos. Técnicamente, el equipo destaca por integrar un obturador mecánico en su sensor RGB (4/3 CMOS), característica crítica que elimina la distorsión geométrica por movimiento (rolling shutter) al volar a altas velocidades, garantizando ortomosaicos de alta fidelidad espacial.

Desde la perspectiva de la teledetección, el M3M monta un arreglo de cuatro sensores monocromáticos dedicados que capturan bandas espectrales específicas verde ($560\text{nm} \pm 16\text{nm}$), rojo ($650\text{nm} \pm 16\text{nm}$), borde Rojo ($730\text{nm} \pm 16\text{nm}$) e infrarrojo Cercano ($860\text{nm} \pm 26\text{nm}$). Esta configuración de banda estrecha es indispensable para calcular índices de vegetación avanzados más allá del NDVI (vigor general), tales como el NDRE (Normalized Difference Red Edge), el cual permite detectar cambios en el contenido de clorofila y estrés hídrico en etapas tempranas, incluso antes de que sean visibles al ojo humano o en cultivos

de canopia densa. La integración de un módulo RTK nativo asegura que estos mapas de prescripción (VRA) posean una precisión posicional centimétrica, dato de entrada obligatorio para la navegación automatizada de los drones de aplicación T70P.

Características	Características y Rendimiento Operativo
Plataforma de Sensores	• Resolución RGB: 20 MP (4/3 CMOS) Obturador Mecánico. • Multiespectral: 4 Bandas (G/R/RE/NIR) de 5 MP. • Precisión: RTK (± 5 [cm]). • Peso: 951 g
Autonomía y Energética	• Tiempo de Vuelo: 43 minutos nominales por batería. • Rendimiento de Mapeo: Hasta 200 hectáreas por vuelo • Ciclo de Carga: Hub de 100W para rotación continua en campo.
TOTAL	5.800.000

Tabla 4.2 Características técnicas DJI Mavic 3 Multiespectral (Fuente DJI Famagro)

En cuanto al mantenimiento de las aeronaves, el componente más crítico en la estructura de costos operativa no es la unidad en sí, sino la depreciación del activo de almacenamiento de energía. La batería de vuelo DJI DB2160 (especifica al modelo seleccionado) cuyo valor de mercado se aproxima a los \$3.800.000 CLP, posee una vida útil garantizada por el fabricante de 1.500 ciclos de carga. Desde una perspectiva financiera, esto implica que cada vuelo "consume" una fracción irrevocable del capital invertido. Considerando esto, para garantizar la operación continua de la aeronave, es indispensable mantener un set de tres unidades en rotación constante, en consecuencia, cada ciclo completado representa la depreciación irreversible de una fracción del activo. Dado que el DJI Agras T70P cubre un rendimiento

promedio estimado de 4,5 hectáreas por carga, el costo directo por consumo de este componente se establece en aproximadamente \$570 CLP por hectárea, cifra que debe ser considerada en la estructura de costos para asegurar el financiamiento del recambio periódico.

Paralelamente al sistema energético, la aeronave cuenta con componentes mecánicos sometidos a fatiga de material y abrasión constante que requieren reemplazo periódico mandatorio. El ítem principal son las hélices de alta resistencia de 62 pulgadas, las cuales sufren micro fisuras por impacto de insectos y partículas en suspensión, comprometiendo la eficiencia aerodinámica y la seguridad si no se renuevan cada 300 horas de vuelo. Asimismo, el sistema de aspersión, específicamente los discos centrífugos de los atomizadores rotatorios, experimenta un desgaste acelerado debido a la naturaleza corrosiva y abrasiva de ciertos productos fitosanitarios.

La incidencia combinada de estos repuestos críticos, sumada a una provisión mecánica calculada para cubrir el reemplazo eventual de componentes menores (como trenes de aterrizaje, trabas de brazos o cableado expuesto), fundamenta un costo operacional directo estimado en \$300 CLP por hectárea. Este valor se desprende del prorrateo de la vida útil de cada componente frente a la capacidad de cobertura del equipo, tal como se detalla en la tabla:

Componente	Costo Reposición	Vida	Rendimiento (Ha/Ciclo de Vida)	Costo por Hectárea
Set Hélices (62")	\$480.000	300 [h]	7.500 [Ha/Vida]	\$64
Discos Atomizadores	\$120.000	150 [h]	3.750 [Ha/Vida]	\$32
Provisión Mecánica	-	-	-	\$204

Tabla 4.3 Partes y piezas T70P (Fuente: Heliboss)

Adicionalmente a los costos variables de operación diaria, el plan de mantenimiento contempla un hito mandatorio de carácter fijo, la Intervención Técnica Mayor Anual. Según la pauta del fabricante DJI, al cumplirse 600 vuelos o 12 meses de operación, cada aeronave T70P debe ser retirada temporalmente de faena para ingresar a un laboratorio certificado. Este procedimiento profundo incluye limpieza ultrasónica de componentes electrónicos, reemplazo de sellos, verificación de rodamientos de motores y recalibración de radares; un proceso vital para renovar la validez de las garantías. Este tipo de mantenimiento debe ser programado y, dada la mayor envergadura industrial del equipo, tiene un costo de servicio estimado de 375 USD¹⁹.

Respecto a la estructura de costos de mantenimiento para la unidad de teledetección (Mavic 3M), aunque posee gastos operativos significativamente inferiores a la flota de aplicación, requiere un presupuesto específico enfocado en la integridad de los datos. El costo variable principal es la amortización de las baterías de vuelo, considerando un valor de reposición de

¹⁹ Fuente: <https://indigodrones.com/taller-y-soporte/p/mantenimiento-preventivo-dji-agras>

aproximadamente \$260.000 CLP por unidad y una vida útil efectiva de 500 ciclos, se estima una depreciación de \$500 a \$600 CLP por vuelo, cifra que debe provisionarse para renovar el kit de energía periódicamente. En cuanto a los costos fijos, se debe presupuestar una Mantenimiento Preventiva Anual en servicio técnico certificado, con un valor estimado entre \$150.000 y \$180.000 CLP (Neto). Este servicio es crítico no por la mecánica, sino para la limpieza interna de lentes y la recalibración del gimbal y sensores, asegurando que los mapas de prescripción no presenten distorsiones que afecten la operación de los drones fumigadores.

Para la ejecución de los servicios de mantenimiento preventivo (anual) y correctivo (reparaciones) de toda la flota, la operación se apoyará en la red de Servicios Técnicos Autorizados DJI Enterprise con cobertura logística en la Región del Maule. Dado que las intervenciones mayores (calibración de radares, reemplazo de brazos, ajuste de sensores ópticos o módulos de aviónica) requieren certificación de fábrica para no invalidar las garantías, se han seleccionado los siguientes proveedores estratégicos para la zona de Talca:

- Helios (Heliboss): Como representante oficial de DJI Agriculture en Chile, será el proveedor principal para garantías y compras de repuestos mayores. La logística desde Talca se gestiona mediante envíos prioritarios a su laboratorio central (Santiago) con tiempos de respuesta de 48-72 horas.
- Riagro Drone / AgroDron: Se considerarán como alternativas de soporte zonal para mantenimientos rápidos o insumos de urgencia, aprovechando su presencia operativa en la zona centro-sur (Chimbarongo/Curicó) para minimizar los tiempos de inactividad de la flota

4.3.2. TRANSPORTE

Para dotar de movilidad autónoma a las células de trabajo, se requiere una plataforma vehicular que garantice el acceso a terrenos agrícolas complejos (barro, pendientes) y la seguridad de la tripulación. Los criterios de evaluación priorizan la tracción 4x4, la disponibilidad de repuestos en zonas rurales, la capacidad de carga (800kg+) y el valor residual del activo al finalizar el horizonte de 5 años.

Variable	Toyota Hilux (2.4L/SR)	Mitsubishi L200 (Katana)	Maxus T90 (4x4)
Precio Referencial	\$32.404.000	\$27.000.000	\$20.000.000
Rendimiento	13.2 [km/L]	11.4 [km/L]	10.3 [km/L]
Autonomía (Estanque)	1.050 km (80L)	850 km (75L)	770 km (75L)
Capacidad de Carga	895 kg	1.000 kg	1.000 kg
Potencia / Torque	148 [HP] / 400 [Nm]	152 [HP] / 380 [Nm]	215 [HP] / 500 [Nm]
Valor Reventa (Año 5)	\$17.500.000	\$15.500.000	\$10.000.000

Tabla 4.4 Características técnicas vehículos de transporte (Fuentes: Chileautos, paginas oficiales de las marcas)

Al analizar la Tabla 4.4, se descarta la opción Maxus pese a su menor costo de adquisición, debido a su mayor tasa de depreciación y menor capilaridad de servicio técnico en zonas remotas, factores que elevan el riesgo operacional. Si bien la Mitsubishi L200 presenta un precio más competitivo (aprox. \$5M menos por unidad), se selecciona la Toyota Hilux 4x4 como el estándar definitivo para la flota.

Esta decisión prioriza el Costo Total de Propiedad sobre la inversión inicial, la Hilux ofrece la menor tasa de fallas del mercado (alineándose con la política de "cero detenciones") y el mayor valor de reventa al quinto año, lo que permite una recuperación de capital superior al momento de renovar los activos. Se contempla adicionalmente la instalación de un rack estructural metálico sobre el platón para optimizar la estiba del dron T70, generador y estanque de mezcla en un solo nivel de transporte. En la Ilustración 4.4 se observa cómo se podría ver la configuración de la camioneta para el trabajo. Ilustración 4.4 Equipo de trabajo cargado.



Ilustración 4.4 Equipo de trabajo cargado.

Para la movilización segura del estanque IBC de 500 litros, se ha seleccionado un Carro de Arrastre Tipo Plataforma (Cama Baja) con configuración de doble eje en tándem. Esta especificación es requerida desde el punto de vista de la seguridad vial, el transporte de líquidos genera un "efecto de oleaje" dinámico que desestabiliza fácilmente a los remolques de un solo eje. La configuración de cuatro ruedas, sumada a un sistema de freno inercial hidráulico o mecánico, garantiza que el vehículo tractor mantenga la adherencia y el control en frenadas de emergencia, absorbiendo la inercia de la tonelada de agua que se remolca.

- Tipo: Plataforma Plana con barandas perimetrales bajas.
- Capacidad de Carga Real: 2.000 kg (Sobredimensionada para seguridad).
- Suspensión: Doble Eje con barras de torsión independientes.
- Seguridad Activa: Freno de inercia a las cuatro ruedas y freno de mano.
- Piso: Plancha de acero diamantado antideslizante (2.5mm).

- Anclaje: Puntos de amarre soldados al chasis

En términos económicos, la inversión total estimada para la unidad de apoyo logístico oscila entre los \$2.960.000 y \$3.360.000 CLP (valores referenciales de mercado con IVA incluido). Este presupuesto se desglosa principalmente en la adquisición del remolque plataforma de doble eje con frenos inerciales y capacidad de carga de 2.000 kg, cuyo costo base fluctúa entre los \$2.800.000 y \$3.200.000, dependiendo del fabricante. El monto restante, aproximadamente \$160.000, se destina a los costos de legalización para su tránsito en la vía pública (inscripción en el Registro Nacional de Vehículos Motorizados, placas patentes, SOAP y permiso de circulación) y a la compra de elementos de seguridad para la estiba, específicamente juegos de eslingas de trinquete certificadas para el anclaje del estanque IBC.

4.3.3. GENERADORES

Para sostener un ciclo de vuelo continuo, la velocidad de recarga debe igualar o superar el tiempo de consumo de la batería en vuelo. Los generadores convencionales de corriente alternan (AC) resultan inviables para esta operación, no solo por las pérdidas de energía en la conversión, sino por su incapacidad para comunicarse con la electrónica inteligente del acumulador. Por esta razón, se seleccionan dos unidades del modelo DJI D14000iEP, equipos de inyección electrónica desarrollados específicamente para soportar la alta demanda de amperaje de la plataforma T70P. Al contar con salida de Corriente Continua (DC) nativa y protocolos de comunicación propietarios, estos generadores dialogan con las baterías de alta capacidad (DB2160) para gestionar su temperatura y optimizar la curva de carga en una ventana crítica de 9 minutos, garantizando así la operación sin detenciones incluso bajo condiciones de máxima exigencia.

Variable	Especificación Técnica
Modelo	DJI D14000iEP
Tipo de Generador	Inverter Híbrido con Inyección Electrónica (EFI)
Salida de Carga (DC)	14.000 W (Soporte nativo T70P)
Salida Auxiliar (AC)	1.500 W (Para herramientas y periféricos)
Velocidad de Carga	9 a 12 minutos (Batería DB2160 del 30% al 95%)
Capacidad de Estanque	30 [L]
Consumo de Combustible	600 ml/kWh
Dimensiones y Peso	800×600×700 mm / 95 [kg] (Aprox)
Precio Referencial Unitario	\$4.600.000 - \$5.000.000 CLP

Tabla 4.5 Características técnicas Generador (Fuente: DJI Agras)

4.3.4. SOFTWARE DE VUELO Y ADMINISTRACIÓN

La plataforma DJI SmartFarm actúa como el centro neurálgico de inteligencia para la operación agrícola, integrando en una solución basada en la nube la gestión de la flota, la planificación de misiones y el análisis de datos agronómicos. Esta herramienta permite visualizar en tiempo real la ubicación y estado de cada aeronave, administrar parcelas mediante cartografía de alta definición y, lo más importante, generar prescripciones de dosis variable (VRA) basadas en índices de vegetación. Funciona como un puente digital que

sincroniza los datos capturados en terreno por los drones con la oficina central, permitiendo un flujo de trabajo unificado desde la prospección hasta la aplicación.

Para la estructura de esta empresa, la implementación de SmartFarm es un requisito operativo no negociable y no solo una herramienta opcional. Dado que se gestionarán dos células de trabajo en ubicaciones geográficas distintas, el software es el único medio que permite a la gerencia auditar el avance de las faenas, verificar las hectáreas reales fumigadas y controlar los parámetros de vuelo (velocidad, altura, caudal) de manera remota. Sin esta plataforma, la empresa perdería la capacidad de trazabilidad, dependiendo exclusivamente de reportes manuales de los pilotos, lo cual introduce un margen de error inaceptable para una operación industrial profesional.

En términos económicos, DJI SmartFarm representa una ventaja competitiva significativa, ya que su licencia de uso estándar está incluida sin costo adicional con la activación de los equipos Agras. A diferencia de otros fabricantes que cobran suscripciones mensuales por hectárea gestionada o por usuario (SaaS), DJI ofrece esta capacidad como parte del valor agregado del ecosistema.

4.3.5. BOMBAS DE CARGA

Para la alimentación operativa del dron, se contempla la instalación de una bomba centrífuga eléctrica de 1 HP (220V) montada en el bastidor del carro de arrastre. Este equipo se alimentará directamente desde el generador ubicado en la camioneta mediante una extensión de grado industrial, permitiendo un caudal de llenado de aproximadamente 80-100 litros por minuto. Esta velocidad es crítica para minimizar los tiempos muertos, logrando llenar el estanque del T70 (40 litros) en menos de 2 minutos segundos. El sistema incluye un kit de mangueras de succión y descarga de 1 pulgada, acoples rápidos tipo "Camlock" para evitar derrames y una pistola de corte automático (similar a las de bencinera) para un llenado preciso y sin desperdicios. La inversión estimada para este ítem, considerando la bomba, periféricos hidráulicos y cableado, se sitúa en un rango de \$180.000 a \$240.000 CLP

4.3.6. ESTANQUE

Para asegurar la autonomía hídrica completa de la jornada operativa, se selecciona el contenedor industrial Schütz Ecobulk MX 1000. Esta unidad de 1.000 litros de capacidad nominal maximiza el uso del espacio en el remolque plataforma, manteniendo las dimensiones de base estándar ISO (1.200 x 1.000 mm) pero incrementando la altura a 1.160 mm. Su estructura se compone de una botella interior de polietileno de alta densidad (HDPE) virgen con estabilización UV, protegida por una rejilla tubular de acero galvanizado patentada que garantiza la integridad estructural ante el movimiento dinámico del fluido en caminos rurales. El sistema incluye un pallet base (acero o híbrido) apto para grúa horquilla, tapa superior de 150 mm y una válvula de descarga inferior de 2 pulgadas (DN50) con sello de seguridad. El valor de inversión para esta unidad nueva y certificada UN (apta para transporte) es de \$429.990 CLP



Ilustración 4.5 Estanque mezclador

4.4. INSUMOS

4.4.1. QUIMICOS

La empresa adoptara una estrategia de abastecimiento “Just-in-Time”. Esto implica que la adquisición de los insumos operativos como fungicidas, insecticidas o fertilizantes se gatilla únicamente tras el diagnóstico técnico en terreno, trasladando el costo de almacenamiento y obsolescencia a proveedores estratégicos con los que se mantienen convenios de disponibilidad inmediata.

Por consiguiente, los insumos químicos permanentes de la organización se limitan exclusivamente a los coadyuvantes técnicos y correctores de agua, elementos de bajo costo, pero críticos para asegurar la calidad de la aplicación aérea, independientemente del producto que la operación requiera. En la Tabla 4.6 se muestra la función, dosis (Aproximada) y costo de cada uno de estos según proveedores como Copeval y Coagra.

Categoría	Función	Precio Mercado [CLP/L]	Dosis Media [cc/ha]	Costo por Hectárea CLP
Coadyuvante	Antideriva	\$ 40.000	50	\$ 2.000
Corrector	Regulador pH	\$ 8.000	15	\$ 120
Limpieza	Neutralizante de Tanque	\$ 12.000	10	\$ 120
TOTAL		\$ 2.240 / ha		

Tabla 4.6 Tabla insumos químicos operacionales (Fuente: Catalogo de distribuidores como Copeval, Coagra)

4.4.2. ENERGÍA.

Por otro lado, el abastecimiento energético constituye uno de los pilares fundamentales para la operación. En este contexto, el combustible (específicamente la gasolina) es un insumo crítico, pues cumple una doble función, primero, permite el despliegue logístico hacia los predios agrícolas mediante los vehículos de transporte, y además, alimenta los generadores eléctricos en terreno, los cuales son indispensables para la recarga continua de las baterías de

los drones y la autonomía de la flota. Si lo traspasamos a costos, el generador DJI D14000iEP que se utilizará rinde aproximadamente 35 cargas completas con el estanque al máximo (30 [L]), dado el mayor amperaje de las baterías del modelo T70P. Tras hacer la división, esto significa aproximadamente 0,85 litros de gasolina para cargar una batería completa. Teniendo en cuenta que el litro a día de hoy tiene un precio de \$1.300 CLP, cada batería cargada significaría para la institución un costo energético de unos \$1.105 CLP. Ahora bien, dado que el DJI Agras T70P cubre con cada carga unas 4,5 hectáreas promedio (gracias a su estanque de 70 litros), el gasto efectivo de combustible de generador por hectárea cubierta desciende a aproximadamente \$245 CLP, lo que demuestra la eficiencia energética del equipo mayor frente a modelos más pequeños.

Para determinar el presupuesto anual de combustible asociado al transporte, se estableció un modelo de demanda basado en la ubicación estratégica de la base en Talca y la operación de una flota compuesta por dos camionetas Toyota Hilux 4x4 (Diésel).

En primer lugar, se calculó la frecuencia de despliegue dividiendo la meta comercial de 10.000 hectáreas anuales por la capacidad operativa diaria de la empresa. Considerando que 2 unidades DJI T70P logran una cobertura conjunta conservadora de 70 a 75 hectáreas/día, se proyectan aproximadamente 140 jornadas operativas anuales. Asumiendo un desplazamiento promedio de 130 kilómetros diarios (ida y vuelta) para cubrir las zonas productivas del Maule, el rodaje anual combinado de las dos unidades asciende a 36.400 kilómetros.

Para la estimación de consumo, se utilizó un rendimiento ponderado de 9,0 kilómetros por litro de diésel, cifra conservadora para una Toyota Hilux en condiciones de faena y carga media-alta. Bajo estos parámetros, se proyecta un consumo anual de 4.045 litros de petróleo diésel

4.4.3. EPP

En cuanto al presupuesto destinado a la seguridad laboral, este, al igual que los demás no constituye un costo fijo, sino una variable que depende directamente del número de operaciones. Por consiguiente, a mayor cantidad de operaciones y tiempo dentro de una misma jornada, mayor será la tasa de saturación de filtros respiratorios y la degradación de las barreras dérmicas (trajes).

Dada esta variabilidad, a continuación, se detallan los costos unitarios de mercado para los insumos de seguridad estandarizados para la operación, los cuales servirán de base para la estructura de costos variables.

Categoría	Ítem Específico	Unidad de Compra	Precio Unitario Estimado
Protección Respiratoria	Mascarillas para vapores 3M 6003	Par	\$ 22.000
Protección Dérmica	Traje Desechable Tipo Tyvek.	Unidad	\$ 6.500
Protección Manual	Guantes de Nitrilo.	Caja (100 un)	\$ 12.000
Protección Ocular	Antiparras Herméticas	Unidad	\$ 8.500

Tabla 4.7 EPP necesarios para la operación (Fuente: Catalogo proveedores de EPP como Sodimac)

Considerando los datos de la Tabla 4.7 de precios de mercado expuesta, aplicando una política de optimización de recursos basada en la reutilización máxima segura de los implementos y siguiendo la línea de estimaciones anteriores (unas 70[Ha] por operación) se estima que para cubrir las 140 operaciones anuales con una cuadrilla de dos operarios, el presupuesto anual de seguridad asciende a \$694.000. Este cálculo se fundamenta en una tasa de recambio extendida de 5 usos promedio por cada traje Tyvek (representando \$377.000 del total) y una sustitución racionalizada de filtros respiratorios a un par mensual por operador (\$264.000), minimizando así el impacto de los insumos desechables, considerando que la institución contara con dos cuadrillas este monto sube a \$1.388.000 al año en epp. Cabe destacar que estas estimaciones serán puestas a prueba en el capítulo de sensibilización.

4.5. KPIS

Los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) operacionales son herramientas de gestión fundamentales que permiten monitorear y evaluar la eficiencia, calidad y consistencia de los procesos internos en tiempo real. Para un proyecto de servicios agrícolas, estos indicadores actúan como un sistema de alerta temprana, transformando datos complejos de las jornadas de vuelo en información accionable para optimizar el uso de recursos críticos como combustible, químicos y tiempo de batería. Al medir variables específicas de la ejecución técnica, es posible identificar cuellos de botella en la logística de carga, minimizar los tiempos improductivos entre hectáreas y asegurar que el servicio cumpla con los estándares de precisión requeridos, garantizando así la rentabilidad directa de cada intervención en el campo. A continuación, se presenta una tabla con los KPI más relevantes para medir la operación de una empresa de servicios de fumigación con drones:

Categoría	KPI	Definición / Fórmula	Objetivo
Eficiencia de Campo	Hectáreas por Hora (Ha/h)	Total de hectáreas aplicadas / Horas totales de operación.	Medir la velocidad real de trabajo incluyendo traslados y recargas.
Productividad del Activo	Disponibilidad de la Flota	(Días de drones operativos / Días totales del mes) x 100.	Evaluar el impacto del mantenimiento y fallas técnicas en la capacidad de servicio.
Uso de Insumos	Precisión de Aplicación	(Litros proyectados / Litros reales aplicados) x 100.	Asegurar que no haya desperdicio de agroquímicos ni dosis insuficientes.
Logística y Energía	Ciclos por Batería	Número de hectáreas cubiertas por cada carga completa de batería.	Monitorear la salud de las baterías y la eficiencia energética del vuelo.
Calidad del Servicio	Tasa de Re-trabajo	(Hectáreas re-fumigadas por errores / Total Ha) x 100.	Medir la eficacia de la primera pasada y evitar costos adicionales.

Tiempos Muertos	Tiempo de Recarga (Turnaround)	Tiempo promedio desde que el dron aterriza hasta que despegue nuevamente.	Optimizar la logística de tierra y el desempeño de los operarios.
Seguridad	Tasa de Incidentes	Número de accidentes o fallas críticas / 1.000 Ha voladas.	Garantizar la seguridad operativa y la integridad de los equipos.

4.6. LOCACION Y LAYOUT

Un componente esencial del estudio de prefactibilidad consiste en identificar el emplazamiento óptimo para la infraestructura administrativa y operativa. La selección de esta zona responde a una necesidad de equilibrio económico y funcional. La idea es minimizar los gastos derivados del transporte, asegurar la disponibilidad de personal técnico calificado y maximizar la capacidad de captación de clientes en las zonas de mayor demanda agrícola.

Para identificar los emplazamientos óptimos, se toma como punto de partida la información del Gráfico 1.1, el cual detalla las regiones con mayor superficie cultivada en la zona central de Chile. Bajo este contexto, la selección no solo prioriza el potencial de mercado, sino también la eficiencia logística, favoreciendo aquellas comunas con acceso directo a la Ruta 5 por ser el eje articulador del transporte interregional.

Como resultado de este cruce de variables se han preseleccionado cinco comunas que presentan condiciones necesarias para la instalación de la base operativa:

- Talca: Se posiciona como el centro neurálgico de la zona centro-sur, destacando por su alta concentración de viñedos y frutales de exportación (manzanas y cerezas). Su ubicación estratégica sobre la Ruta 5 Sur permite una fácil conectividad con las regiones de O'Higgins y Ñuble, facilitando el despliegue de brigadas hacia provincias como Linares y Curicó en menos de una hora. En términos de infraestructura, los costos de arriendo de bodegas industriales de mediano tamaño oscilan entre los \$1.500.000 y \$2.500.000, ofreciendo una relación costo-beneficio competitiva.

Además, la zona cuenta con una alta disponibilidad de capital humano especializado debido a la alta demanda de este tipo de profesionales en específico.

- Rancagua: Esta comuna registra una alta actividad en la producción frutícola nacional, ubicándose en la región con más hectáreas cultivadas del país. En cuanto al transporte, esta comuna se encuentra vinculada a la Ruta 5 Sur y la Ruta 66 (Carretera de la Fruta), esta última con conexión hacia el puerto de San Antonio. Se ubica a 80 km de Santiago, facilitando la proximidad con proveedores de servicios técnicos. Los costos de arriendo en sectores industriales periféricos promedian entre los \$2.000.000 y \$3.000.000. La oferta de mano de obra técnica está influenciada por la actividad agroindustrial y minera de la región.
- Buin: La ubicación permite atender la producción de frutales y hortalizas de la zona sur de la Región Metropolitana. Logísticamente, conecta con las comunas de Paine, Melipilla y Talagante, aunque los tiempos de desplazamiento hacia el norte están sujetos al flujo vehicular de la salida de Santiago. Los costos de arriendo son los más altos de la muestra, con valores que pueden superar los \$3.000.000 para instalaciones con oficinas y bodegaje. La comuna presenta acceso a profesionales especializados y pilotos certificados centralizados en la capital, así como a servicios de postventa tecnológicos.

Para la selección de una de estas opciones se empleará el método de selección de Brown and Gibson, el cual fue explicado en detalle en el capítulo 2. Para una empresa de servicios agrícolas mediante drones, se han definido los siguientes cuatro factores como Factores Críticos:

- Conectividad Vial: Disponibilidad de acceso inmediato a rutas principales (como la Ruta 5) que permitan el desplazamiento eficiente de las unidades operativas hacia los predios agrícolas.
- Suministro Eléctrico: Existencia de una red eléctrica con capacidad suficiente para soportar la carga simultánea y rápida de múltiples baterías de drones industriales.
- Espacio Físico y Normativo: Disponibilidad de infraestructura que permita el almacenamiento de insumos (fitosanitarios) bajo las normativas del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el mantenimiento técnico de las aeronaves.

- Disponibilidad de servicio técnico tanto para las camionetas como para el equipo aéreo.

El Factor Crítico (FC) actúa como un filtro determinativo de naturaleza binaria. En el modelo de Brown y Gibson, este factor se calcula como el producto de los requisitos mínimos obligatorios, por lo tanto, si una alternativa falla en cumplir tan solo uno de los criterios preestablecidos, el resultado de la ecuación es cero, lo que implica la exclusión inmediata de dicha opción. En este análisis particular, tras evaluar la disponibilidad de suministro eléctrico industrial, la conectividad vial estratégica, la adecuación de los espacios físicos a la normativa vigente y la disponibilidad de servicio técnico, se determinó que tanto Talca, Rancagua como Buin satisfacen estas exigencias. Al ser el cumplimiento total ($1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$) el Factor Crítico para las tres comunas se establece automáticamente en 1, permitiendo que todas avancen hacia la fase de evaluación de factores objetivos y subjetivos, donde se dirimirá la alternativa más ventajosa mediante criterios cuantitativos y cualitativos.

La segunda etapa del método de Brown y Gibson consiste en el cálculo de los Factores Objetivos (FO). A diferencia de los factores críticos, estos son valores cuantitativos y monetarios que permiten comparar las alternativas en términos de costo-eficiencia. El Factor Objetivo se calcula utilizando los costos totales de operación mensuales de cada localización. Dado que se busca la alternativa más económica, la metodología utiliza el recíproco del costo ($\frac{1}{C_i}$). De esta forma, la comuna con el costo más bajo obtiene el puntaje de FO más alto. Para este análisis, se consideran los costos mensuales estimados de arriendo de locales industriales y oficinas técnicas, que representan el gasto operativo fijo más relevante de la localización:

- Talca: \$2.000.000
- Rancagua: \$2.500.000
- Buin: \$3.000.000

Estos valores representan un promedio del costo en Portal inmobiliario, considerando las características antes mencionadas en el layout. De estos valores se desprende la siguiente matriz:

Alternativa	Costo Mensual (Ci)	Recíproco (1/Ci)	Factor Objetivo (FO)
Talca	\$2.000.000	0,000000500	0,405
Rancagua	\$2.500.000	0,000000400	0,324
Buin	\$3.000.000	0,000000333	0,270
Total	\$7.500.000	0,000001233	1,000

Matriz 4.1 Cálculo de FO

En donde el Factor objetivo se de cada comuna se calcula en base a la siguiente formula:

$$FO_i = \frac{1/C_i}{\sum_{i=1}^n (1/C_i)}$$

Donde:

- C_i corresponde al costo de la comuna i
- FO_i corresponde al factor objetivo de la comuna i

Es importante notar que el Factor Objetivo solo mide el impacto del dinero. Por sí solo, daría como ganadora a Talca, sin embargo, el método de Brown y Gibson corregirá este sesgo en la siguiente etapa mediante los Factores Subjetivos, donde se evaluarán beneficios como la densidad de clientes o la facilidad para encontrar pilotos especializados.

La tercera etapa del método de Brown y Gibson consiste en la evaluación de los Factores Subjetivos (FS). Estos factores son aquellos que, aunque no se pueden cuantificar fácilmente

en dinero, tienen un impacto directo en la eficiencia operativa y el éxito del negocio. Para esta institución se han seleccionado cuatro criterios específicos que permiten diferenciar el potencial de cada comuna:

- Densidad mercado local W_1 : Volumen de hectáreas de cultivos que requieren aplicaciones en la región.
- Pilotos W_2 : Centros de formación y facilidad para reclutar pilotos certificados.
- Técnico W_3 : Centros de formación de técnicos agrícolas en la región.
- Proximidad a mercados adyacentes W_4 : Mercado disponible hacia en norte o al sur.
- Entorno Agrotecnológico W_5 : Presencia de soporte técnico que facilite la operación diaria.

Criterio	Ponderación	Talca	Rancagua	Buin
Mercado local	40%	31%	32%	19%
Pilotos	10%	60%	70%	100%
Técnicos agrícolas	10%	80%	80%	60%
Proximidad a mercados adyacentes	20%	65%	82%	67%
Proveedores de mantenimiento	20%	50%	75%	100%
Suma Ponderada	100%	49,40%	59,20%	57,00%

Tabla 4.8 Ponderación de cada comuna

En la Tabla 4.8 Ponderación de cada comuna se detallan los factores subjetivos evaluados para cada alternativa, incluyendo su respectivo nivel de cumplimiento porcentual y la suma ponderada final.

La comuna de Buin registra una valoración destacada en los criterios de disponibilidad de pilotos y acceso a centros de mantenimiento. Este resultado se fundamenta en la infraestructura educativa de la Región Metropolitana, la cual concentra un total de diez academias de formación de pilotos RPAS. Asimismo, la ubicación facilita el vínculo con los principales centros de soporte técnico y distribución de repuestos del país, tales como Dronestore y Heliboss, cuyas casas matrices se sitúan en Santiago. Desde una perspectiva geográfica, Buin colinda al norte con la Región de Valparaíso y al sur con la Región de

O'Higgins, áreas que representan una parte significativa de la superficie cultivada nacional (67%).

Por su parte, la comuna de Rancagua presenta indicadores elevados en cuanto a densidad de mercado local y proximidad a regiones adyacentes. La Región de O'Higgins concentra el 32% de las hectáreas cultivadas en Chile, al integrar en el análisis las regiones limítrofes (Metropolitana y Maule), esta localización se posiciona como el núcleo con mayor superficie agrícola disponible en el entorno inmediato (82%). En relación con el capital humano, aunque la región dispone de dos academias de vuelo, su cercanía con la capital permite el reclutamiento de personal certificado sin las complejidades de un traslado de larga distancia. En cuanto al soporte técnico para aeronaves, la presencia de servicios oficiales en las localidades de Peumo y Chimbarongo otorga a esta alternativa una ventaja logística superior respecto a opciones más australes.

Finalmente, la comuna de Talca registra la valoración más baja en el Factor Subjetivo de este estudio. Sus principales fortalezas radican en la disponibilidad de capital humano especializado y el volumen del mercado regional. La presencia de entidades educacionales de prestigio, como la Universidad de Talca, facilita el acceso a profesionales del área agrícola con formación en nuevas tecnologías. Geográficamente, la comuna se emplaza en la Región del Maule, zona que aporta el 31% de la superficie cultivada del país, consolidándose como un mercado relevante para la operación, a pesar de las limitaciones observadas en infraestructura de soporte técnico y formación aeronáutica local.

Con esta información se calculan los factores subjetivos de cada una de las opciones con la siguiente formula:

$$\frac{\text{Suma Ponderada}_i}{\sum_{i=1}^n \text{Suma ponderada}}$$

Esto da como resultado la siguiente tabla:

Alternativa	Coefficiente FS _i
Talca	0,298
Rancagua	0,358
Buin	0,344

Tabla 4.9 Coeficientes Subjetivos.

Una vez determinados los factores críticos, objetivos y subjetivos, se procede al cálculo de la Medida de Localización (ML) para cada una de las alternativas en estudio. Bajo esta metodología, el emplazamiento óptimo se identifica mediante la obtención del puntaje más elevado, lo cual garantiza la mayor conveniencia operativa y económica según los parámetros establecidos. Para este análisis, se ha definido una ponderación equitativa ($K = 0,5$) entre el factor objetivo y el subjetivo. Esta asignación responde a que la eficiencia en la estructura de costos operativos posee la misma relevancia estratégica que los criterios logísticos y de mercado evaluados en la etapa previa.

El cálculo final se basa en la fórmula de la Medida de Localización, la cual pondera la importancia del costo frente a los beneficios estratégicos. La ecuación general para el estudio hecho se define de la siguiente manera:

$$ML_i = FC_i \cdot (0,5 \cdot FO_i + 0,5 \cdot FS_i)$$

Lo cual nos lleva los siguientes resultados:

Alternativa	Factor Objetivo (FO)	Factor Subjetivo (FS)	Medida de Localización (ML)
Talca	0,405	0,298	0,3515
Rancagua	0,324	0,358	0,3410
Buin	0,270	0,344	0,3070

Tabla 4.10 Resultados evaluación Brown and Gibson

Al integrar los componentes cuantitativos y cualitativos mediante la Medida de Localización (ML), se observa que la comuna de Talca se posiciona como el emplazamiento óptimo con un puntaje de 0,3515, resultado que se fundamenta principalmente en la ventaja competitiva de su factor objetivo (costos de infraestructura), la cual logra compensar su desempeño inferior en los criterios subjetivos de soporte técnico y formación aeronáutica. En un margen estrecho, la comuna de Rancagua ocupa el segundo lugar con un valor de 0,3410, consolidándose como la alternativa con mayor robustez en términos estratégicos y logísticos, aunque penalizada por la estructura de costos asociada a su ubicación intermedia. Finalmente, la comuna de Buin registra la valoración más baja del estudio con un 0,3070, puesto que, a pesar de contar con el nivel máximo de cumplimiento en disponibilidad de pilotos y servicios técnicos especializados, el elevado costo de arriendo de la Región Metropolitana y su bajo mercado local disminuye su eficiencia global bajo una ponderación equitativa del 50% para cada factor. En consecuencia, la evaluación técnico-económica determina que la base de operaciones debe situarse en Talca, al ofrecer el mejor equilibrio entre la viabilidad financiera y el potencial del mercado agrícola identificado.

Es relevante señalar que los resultados obtenidos mediante el método de Brown y Gibson se encuentran sujetos al dinamismo del mercado, específicamente respecto a la variabilidad de los costos de infraestructura. Al realizar el cálculo de sensibilización para la alternativa de Rancagua, se determina que una reducción de aproximadamente un 5,8% en su canon de arriendo mensual (equivalente a una disminución de \$144.454 respecto al valor base) igualaría su Medida de Localización con la de Talca. Este estrecho margen de diferencia indica que el modelo es altamente sensible ante fluctuaciones en el Factor Objetivo, por consiguiente, cualquier ahorro operativo adicional en la Región de O'Higgins, o un incremento en los costos logísticos derivados de la mayor distancia geográfica de la base en el Maule, podría alterar el orden y convertir a Rancagua en la ubicación más conveniente para el proyecto.

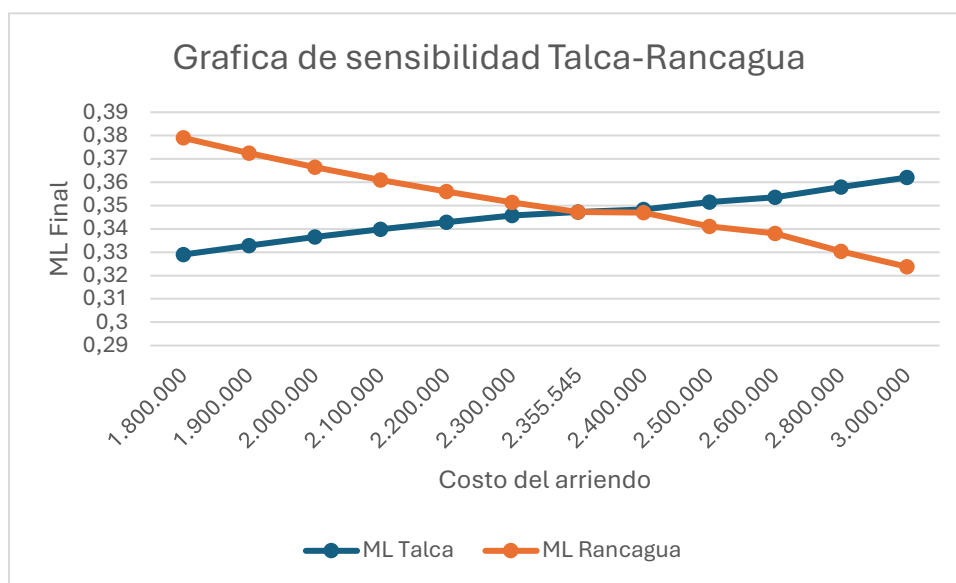


Gráfico 4.1 Sensibilidad Talca VS Rancagua

El Gráfico 4.1 muestra que locación obtiene un puntaje más alto al “estancar” el precio de la ubicación en Talca, se observa que el punto de equilibrio es \$2.355.545 lo que significa que cualquier valor inferior a eso para Rancagua lo daría como la posición objetivamente más recomendable.

4.1. Draft operacional

Según lo estudiado en la proyección de demanda, existe una necesidad en el mercado la cual el proyecto apunta a satisfacer, siendo en este caso la fumigación de precisión. Sin embargo, alcanzar el número de hectáreas propuestas requiere de un modelo de negocio que permita transformar la demanda potencial en superficie efectivamente atendida. Es importante precisar que la meta de 10.000 hectáreas para el primer año de operación no constituye un valor determinístico o absoluto, sino que representa una estimación técnica fundamentada en la capacidad de la flota y en una cuota de mercado conservadora del 0,206% respecto al mercado total disponible. Este volumen se define como un objetivo de captura controlado, diseñado para validar el modelo de negocios bajo supuestos de productividad real de las aeronaves, reconociendo que la cifra final está sujeta a la variabilidad de la adopción tecnológica y a la efectividad de las alianzas comerciales estratégicas.

Para alcanzar esta meta, el proyecto se apoya en una transición de un modelo de aspersión convencional hacia un servicio integrado de agricultura de precisión. A diferencia de los oferentes que operan bajo una lógica de commodity, este plan técnico utiliza el diagnóstico multiespectral para generar mapas de prescripción centimétrica, los cuales dirigen la aplicación de tasa variable (VRA) ejecutada por la flota. Este enfoque permite capturar un nicho de mercado con una mayor disposición al pago, fijando una tarifa de \$25.000 por hectárea, justificada por la optimización de insumos químicos y el cumplimiento de exigencias fitosanitarias internacionales.

El modelo de negocios se articula mediante una propuesta de Producto que trasciende la simple aplicación aérea, posicionándose como una solución integral de inteligencia agronómica. Bajo este enfoque, el servicio no se vende por hora de vuelo, sino por el valor del paquete tecnológico compuesto por la Fase I (Evaluación Multiespectral) y la Fase II (Aplicación de Tasa Variable). Esta integración asegura que el producto final sea un reporte de trazabilidad y eficacia fitosanitaria, donde el cliente no solo recibe el insumo en su cultivo, sino también la evidencia digital de la salud de su plantación mediante índices de vegetación. Esta diferenciación es lo que permite alejarse de la competencia que opera bajo una lógica

de volumen básico, ofreciendo en cambio un servicio de alta fidelidad técnica que protege la calidad cosmética de frutas de exportación como el cerezo.

En cuanto a la estrategia de Precio, la tarifa de \$25.000 por hectárea se establece bajo una lógica de precios basados en el valor (Value-Based Pricing), un enfoque estratégico que determina el cobro no en función de los costos de producción, sino del beneficio económico y los ahorros cuantificables que el servicio genera para el agricultor. Esta metodología está diseñada para capturar una fracción del ahorro operativo generado al productor, justificándose técnicamente a través de la optimización de la Fase II de la operación. En esta etapa, la precisión centimétrica de la flota permite una reducción drástica de insumos químicos y el uso de hasta un 90% menos de agua en comparación con los métodos terrestres tradicionales, transformando el servicio de un gasto de mantenimiento en una herramienta de rentabilidad directa. Al presentar la propuesta bajo esta lógica de eficiencia y cumplimiento de estándares internacionales, el precio se vuelve altamente competitivo para el segmento de exportación de alta exigencia, permitiendo alcanzar el objetivo de captura del 0,206% del mercado total disponible de manera sostenible durante el primer año de operación.

La Plaza o distribución del servicio se fundamenta en un modelo de despliegue logístico ágil, centralizado en una base de operaciones estratégica en Talca para cubrir eficientemente los valles de la zona central. La "entrega" del servicio se materializa mediante las alianzas B2B con distribuidores de insumos como Copeval o Coagra, quienes actúan como el canal de acceso directo al predio. Operacionalmente, esto permite que la empresa funcione bajo una lógica Just-in-Time, donde la logística se activa inmediatamente después de que la Fase I identifica una necesidad técnica en el mapa espectral. Esta agilidad elimina la necesidad de grandes bodegas de almacenamiento de químicos para la empresa, ya que el flujo de materiales se sincroniza con el diagnóstico en tiempo real realizado por el piloto en el sitio en cuestión.

Finalmente, la Promoción se apoya en una estrategia de marketing educativo —un enfoque centrado en instruir al cliente sobre los fundamentos técnicos para reducir la incertidumbre ante nuevas tecnologías— y la validación técnica como pilares de confianza. En este

esquema, la Fase I de Evaluación actúa como el principal motor de conversión de ventas al entregar informes de vitalidad basados en los índices NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y NDRE (Índice de Borde Rojo). Estas herramientas de teledetección miden la reflectancia de las plantas para detectar niveles de clorofila y biomasa invisibles al ojo humano, transformando una sospecha de estrés hídrico o nutricional en un problema visual y cuantificable para el agricultor.

Esta táctica se complementa con los Field Days, o jornadas demostrativas en terreno, que sirven para romper la barrera del tradicionalismo agrícola mediante la observación directa. En estas instancias, el cliente puede validar el efecto downwash, que consiste en el flujo de aire descendente generado por los rotores del dron que empuja las microgotas hacia el interior de la canopia (el follaje denso), asegurando que el producto químico penetre en todas las capas del cultivo y no solo en la superficie.

Esta prueba de concepto resulta definitiva para los segmentos de relieves complejos y laderas, donde se demuestra la ausencia de daño mecánico y la superioridad logística frente al tractor convencional. Así, la promoción no solo difunde el servicio, sino que profesionaliza el sector al educar sobre las ventajas de operar bajo la normativa DAN 151 de la DGAC. Esta regulación técnica para aeronaves no tripuladas constituye una barrera de entrada crítica que garantiza la seguridad operacional y el cumplimiento legal, diferenciando a la organización de la oferta informal y asegurando la protección de activos de alto valor para grandes exportadoras.

5. ANALISIS ECONOMICO

En el marco del análisis económico, la determinación de precio es esencial para la viabilidad del proyecto. Como se ha expuesto en secciones anteriores, el mercado nacional de servicios de aspersión con RPAS presenta una tarifa base que oscila entre los \$12.000 y \$15.000 por hectárea. Este valor corresponde a servicios de naturaleza commodity, donde la operación se limita estrictamente a la aplicación de productos fitosanitarios sin diagnósticos previos.

No obstante, la propuesta de valor de esta organización trasciende la aplicación convencional. El servicio propuesto integra un ciclo completo de agricultura de precisión, donde el cliente no solo adquiere la fumigación, sino que invierte en un proceso de diagnóstico multispectral y análisis de datos geoespaciales. Esta integración permite una aplicación dirigida y variable (VRA), justificando un diferencial de precio basado en la optimización de insumos y la mejora en el rendimiento sanitario del cultivo.

La decisión de adoptar una cuota de mercado conservadora, (0,206% de la demanda nacional estimada) responde a una estrategia de segmentación de nicho. Se reconoce que el servicio de agricultura de precisión propuesto no busca una penetración masiva, sino que se orienta específicamente a productores de cultivos de alto valor agregado, tales como frutales de exportación y vides de alta gama. En estos segmentos, la exigencia de estándares fitosanitarios de 'tolerancia cero' y la búsqueda de una condición estética impecable para mercados internacionales justifican la adopción de tecnologías de monitoreo espectral y aplicación variable, validando así la captura de una demanda altamente especializada y de mayor disposición al pago.

Por estas razones y considerando que un mapa espectral sale por hectárea casi lo mismo que fumigar se tendrá un precio inicial de \$25.000 el cual claramente estará sujeto a sensibilidad. Con esto en mente se procederán a analizar los diferentes aspectos técnicos económicos del flujo de caja inicial.

Año de proyección	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Cuota de mercado	10.000	10.150	10.302	10.457	10.614
Precio	25.000	25.500	26.000	26.500	27.000
Ingreso	250.000.000	258.825.000	267.858.500	277.104.769	286.568.159

Tabla 5.1 Tabla de proyección de ingresos

De la Tabla 5.1 se desprende los ingresos proyectados, cabe mencionar que se utiliza una tasa de crecimiento igual a la tasa de crecimiento de las hectáreas cultivadas en Chile vista en el capítulo 3, también se consideró un alza anual de \$500 por hectárea dado que en teoría añadiendo el valor agregado aún se está por debajo del precio de mercado.

En cuanto a la inversión inicial, en la Tabla 5.2 se desglosan todas las máquinas e insumos necesarios para iniciar el proyecto.

Ítem	Cantidad	Precio Unitario (CLP)	Total, Inversión (CLP)
Vehículos	2	\$32.000.000	\$64.000.000
Drones Fumigación	2	\$26.000.000	\$52.000.000
Generadores	2	\$4.500.000	\$9.000.000
Remolques	2	\$3.360.000	\$6.720.000
Dron Diagnóstico	1	\$5.800.000	\$5.800.000
Estanques	2	\$429.990	\$859.980
Bombas de Carga	2	\$240.000	\$480.000
TOTAL INVERTIDO			\$139.059.980

Tabla 5.2 Inversión total necesaria para el proyecto

En lo que respecta a capital de trabajo, si se suman todos los insumos necesarios para el funcionamiento de la empresa, desde el arriendo y el personal hasta la gasolina se obtiene

que para el funcionamiento de los 2 primeros meses se necesitaran 24.000.000. Es necesario destacar que, dentro del flujo de caja, el capital de trabajo se empezara a recuperar a partir del segundo año de funcionamiento.

En cuanto al financiamiento, la implementación del proyecto requiere una inversión total de \$163.867.980. Este monto se desglosa en dos componentes, una Inversión Fija de \$139.867.980, destinada a la adquisición de activos productivos críticos (flota de drones DJI Agras T70P, vehículos de soporte terrestre Hilux 4x4 y equipamiento técnico), y un Capital de Trabajo inicial de \$24.000.000, el cual constituye el fondo de maniobra necesario para asegurar la continuidad operacional durante la fase de puesta en marcha (2 meses).

Para cubrir estos requerimientos de capital, se ha definido una estructura de financiamiento mixta. En primer lugar, se contempla la adjudicación del subsidio Semilla Expande de CORFO, un instrumento estatal diseñado para apoyar el despegue comercial de emprendimientos innovadores. Este fondo aporta \$25.000.000 en calidad de subsidio no reembolsable. Al no constituir deuda, este capital mejora sustancialmente el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto y permite financiar actividades estratégicas como la certificación AOC ante la DGAC y la prospección comercial inicial sin generar carga financiera para los socios.

Como segundo pilar, los socios realizarán un aporte de Capital Propio de \$25.000.000, cumpliendo con el compromiso patrimonial exigido por la banca. Estratégicamente, la mayor parte de este aporte, específicamente \$24.000.000, se destinará íntegramente a constituir la reserva de liquidez o Capital de Trabajo

Finalmente, el componente mayoritario de la Inversión Fija se financiará mediante deuda bancaria estructurada a través del Banco de Chile. Se solicitará un Crédito de Inversión Pyme por un monto de \$113.867.980, pactado a un plazo de 5 años. Dada la condición de empresa naciente (Start-up), la operación se amparará bajo la cobertura del Fondo de Garantía para Pequeños Empresarios (FOGAPE). Este instrumento estatal actúa como aval ante la institución financiera, reduciendo el riesgo de crédito y facilitando el acceso a tasas de interés preferenciales. Las proyecciones financieras validan esta estructura, demostrando que el flujo

de caja operacional es suficiente para cubrir el servicio de la deuda (amortización e intereses) y generar una rentabilidad atractiva, reflejada en la TIR.

Finalmente, en cuanto a la estimación de la tasa de interés, esta se deriva de la estructura de costos del financiamiento FOGAPE Chile Apoya. Según la normativa vigente, la tasa máxima para este tipo de operaciones se indexa a la Tasa de Política Monetaria (TPM) del Banco Central de Chile, la cual se ubica en un 4,5% anual a la fecha de evaluación, más un spread permitido reglamentario (un extra para el banco calculado en base al riesgo). En la Tabla 5.3 se muestra un promedio ponderado de las tasas de interés en base cobradas en los diferentes tipos de crédito FOPAGUE este promedio es calculado en base al monto y al mes en que se solicitó el crédito y da una mirada general de cuanto está cobrando el Banco.

	2025						Total
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	
Apoyo a la Construcción	2,78	4,59	4,83	5,44	5,54	4,89	5,02
Apoyo a la Vivienda Nueva	3,99	4,13	4,08	4,04	3,99	3,94	4,02
Recuperación Productiva Regional		8,48	8,68	8,04	7,04	5,51	7,71
TOTAL	3,64	4,36	4,53	4,46	4,38	4,15	4,37

Tabla 5.3 Tasas de interés promedio de los diferentes FOPAGUE según la CMF (Fuente: CMF, <https://www.cmfchile.cl/portal/estadisticas/617/w3-propertyvalue-48941.html>)

Si bien en promedio los créditos no superan el 8% anual, para efectos de esta evaluación económica se ha utilizado una tasa conservadora del 10% anual (Esta diferencia de 200 puntos base sobre la tasa de referencia tiene por objetivo internalizar posibles volatilidades macroeconómicas y costos operacionales. En la Tabla 5.4 se detalla como afectara el crédito a la operación de la empresa en cuanto a pagos y amortizaciones:

Año	Prestamos	Intereses	Amortización	Cuota	saldo
0	\$113.867.980				\$113.867.980
1	\$113.867.980	\$ 11.386.798	\$18.651.288,27	\$30.038.086,27	\$ 95.216.692
2	\$95.216.692	\$ 9.521.669	\$20.516.417,09	\$30.038.086,27	\$ 74.700.275
3	\$74.700.275	\$ 7.470.027	\$22.568.058,80	\$30.038.086,27	\$ 52.132.216
4	\$52.132.216	\$ 5.213.222	\$24.824.864,68	\$30.038.086,27	\$ 27.307.351
5	\$27.307.351	\$ 2.730.735	\$27.307.351,15	\$30.038.086,27	\$ -

Tabla 5.4 Tabla de amortización del crédito.

Finalmente, en la Tabla 5.5 se detallan los diferentes fondos de financiamiento y el porcentaje correspondiente al total del proyecto.

Fuente de Financiamiento	Monto (CLP)	Participación (%)
Banco de Chile	\$113.867.980	69,5%
CORFO	\$25.000.000	15,2%
Socios (Capital Propio)	\$25.000.000	15,3%
TOTAL INVERSIÓN	\$163.867.980	100%

Tabla 5.5 Detalle de financiamiento.

Para los costos de operación, como en toda institución estos están divididos en dos, aquellos que varían según la operación (cantidad de Ha fumigadas) y aquellos que son fijos como los sueldos del personal, el arriendo, y los gastos administrativos. Muchos de estos costos fueron evaluados durante el desarrollo de la investigación. A continuación, se desglosan los montos anuales de ambos tipos de costos:

Costos Variables	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Reposición Baterías partes y piezas	-27.500.000	-27.912.500	-28.331.188	-28.756.155	-29.187.498
Insumos Químicos	-22.400.000	-22.736.000	-23.077.040	-23.423.196	-23.774.544
Combustible Generador	-3.250.000	-3.298.750	-3.348.231	-3.398.455	-3.449.432
Total costos variables	-53.150.000	-53.947.250	-54.756.459	-55.577.806	-56.411.473

Tabla 5.6 Costos variables de la institución

Como se extrae de la Tabla 5.6 los principales costos variables de la institución están asociados a la reposición de baterías e insumos químicos, ambos insumos indispensables para una operación continua en una jornada de trabajo.

Costos Fijos	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Viáticos Piloto Imagen	-3.600.000	-3.600.000	-3.600.000	-3.600.000	-3.600.000
Sueldos	-108.000.000	-108.000.000	-108.000.000	-108.000.000	-108.000.000
Arriendo	-24.000.000	-24.000.000	-24.000.000	-24.000.000	-24.000.000
RRHH/Contabilidad	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000
Presupuesto Combustible X2	-10.891.400	-10.891.400	-10.891.400	-10.891.400	-10.891.400
Mantenición fija DJI agrícola X2	-700.000	-700.000	-700.000	-700.000	-700.000
Mantenición fija DJI Imagen	-180.000	-180.000	-180.000	-180.000	-180.000
EPP Anual	-1.388.000	-1.388.000	-1.388.000	-1.388.000	-1.388.000
Total, gastos de administración y Ventas	-154.759.400	-154.759.400	-154.759.400	-154.759.400	-154.759.400

Tabla 5.7 Costos fijos de la institución

De la Tabla 5.7 se extrae que los costos fijos son los más altos de la empresa, debido principalmente a los sueldos, los cuales representan un poco más del 66% de los costos fijos totales. La causa de esto se debe fundamentalmente al tipo de profesionales que requiere la operación, en este caso, un estudio de imagen detallado requiere de alguien con experiencia creando mapas espectrales y evaluando los índices específicos que se necesitan calcular. Por otro lado, el jefe de Operaciones no solo debe organizar las cuadrillas de trabajo, sino que también debe evaluar el tipo de químico y la concentración de cada una de las operaciones llevadas a cabo por la empresa, sumado a esto, habrá 5 personas dedicadas al trabajo en terreno.

El Gráfico 5.1 Flujos acumulados presenta lo antes mencionado de manera visual, haciendo una comparativa anual entre los ingresos y egresos, y mostrando cómo evoluciona el flujo acumulado a través del proyecto. Como se puede observar en las barras, la empresa logra estructurar sus operaciones de manera que los ingresos superan consistentemente a los egresos, generando utilidades positivas con una constante tendencia al alza. Por su parte, la línea del flujo acumulado ilustra el efecto de esta rentabilidad sostenida, trazando una trayectoria ascendente continua que demuestra la capacidad del negocio.

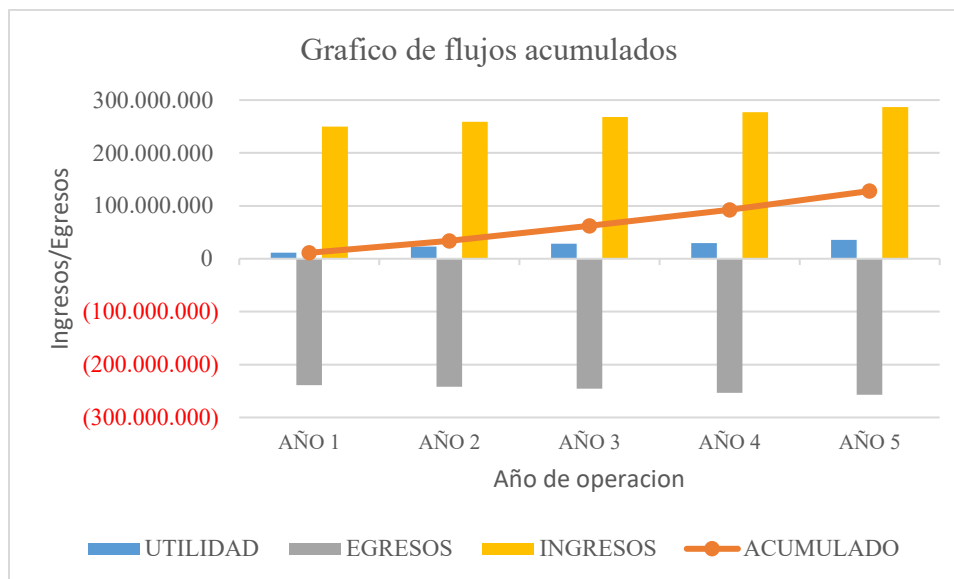


Gráfico 5.1 Flujos acumulados

Finalmente, con los valores mostrados anteriormente se realiza un flujo de caja (Adjuntado en el anexo) para calcular la viabilidad económica del proyecto. La evaluación del proyecto se realizó utilizando una Tasa de Descuento del 15%, la cual representa el costo de oportunidad del capital y la rentabilidad mínima exigida para la inversión. El cálculo del Valor Actual Neto (VAN) dio como resultado un monto de \$29.590.111. Desde una perspectiva técnica, un VAN positivo implica que los flujos de caja futuros descontados son superiores a la inversión inicial. En este caso específico, el proyecto genera un excedente de riqueza de \$29.590.111 en valores presentes, una vez cubierta la totalidad de la inversión y descontada la rentabilidad exigida del 15%. Según el criterio del VAN, al ser el valor mayor a cero ($\$VAN > 0\$$), el proyecto es aceptable económica mente. Por otra parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada es del 34%. Este indicador refleja la rentabilidad intrínseca de los dineros mantenidos en el proyecto. Al comparar este resultado con la tasa de descuento utilizada ($34\% > 15\%$), se observa que la rentabilidad interna supera el costo de capital en 19 puntos porcentuales. Esto indica que el proyecto posee un margen de seguridad financiera que le permite soportar incrementos en la tasa de costo de fondo hasta un límite teórico del 34% antes de que el Valor Actual Neto se torne negativo.

En conclusión, bajo los criterios de decisión financiera estándar ($SVAN > 0\$$ y $STIR > COK\$$), los indicadores confirman la factibilidad económica de la inversión bajo las condiciones y supuestos planteados.

6. SENSIBILIZACION

A lo largo de este estudio se han tomado diversas decisiones y supuestos propios de una evaluación de proyectos. Dada la naturaleza de estas proyecciones, existe un margen de error natural en los cálculos efectuados. Por esto, es necesario realizar un análisis de sensibilidad que nos revele la robustez de los resultados ante reacciones del mercado o variaciones imprevistas, cuantificando así el riesgo real que se asume al invertir el capital. Para este propósito haremos uso del complemento de Excel Oracle Crystal Ball, la cual utiliza el método de simulación de Monte Carlo. A partir de los rangos y distribuciones de probabilidad asignados a las variables críticas del proyecto, el software ejecuta miles de iteraciones matemáticas (escenarios). En cada prueba, el programa selecciona y combina valores aleatorios dentro de los límites establecidos, transformando nuestras estimaciones estáticas en un modelo dinámico. Esto permite visualizar no solo un único resultado posible, sino la distribución completa de probabilidades de escenarios para los indicadores financieros clave.

Para validar que tan probable es el VAN y la TIR obtenidos en el análisis económico se sometió a sensibilización las hectáreas fumigadas durante el primer periodo, la tasa de crecimiento de esta demanda, el aumento de precio anual del servicio y uno de los insumos más críticos dentro del proyecto el combustible. Dado que no se tiene data histórica de estas variables se utiliza una distribución triangular la cual tiene como parámetros el caso optimista (valor más bajo o alto que pudiera alcanzar la variable dependiendo de su naturaleza) y el caso pesimista. A continuación, en la Tabla 6.1 se muestran los valores utilizados para cada variable:

	Caso pesimista	Valor estimado	Caso Optimista
Precio	\$ 23.000	\$ 25.000	\$ 26.000
Aumento de precio	\$ 300	\$ 500	\$ 600
Precio Combustible	\$ 1.200	\$ 1.300	\$ 1.600
Cuota de mercado	8000	10000	11000
Tasa aumento de demanda	1%	1,5%	4%
Kilómetros Anuales	4000	4045	5000

Tabla 6.1 Intervalos de Sensibilización

De la Tabla 6.1 Intervalos de Sensibilización se puede observar que, en la cuota de mercado, los intervalos de variación son considerablemente más amplios, existiendo una diferencia de 3.000 hectáreas fumigadas entre los escenarios pesimista y optimista. Junto con esto, en este período inicial el valor pesimista dista mucho más del escenario base (considerado en el flujo) que el valor optimista. Esto se definió con el fin de adoptar una postura conservadora frente al proyecto, buscando prever posibles impactos negativos en la adopción del servicio y en la demanda real. En cuanto al combustible se consideraron dos variables, una los kilómetros recorridos anuales y la otra si precio objetivo. Al igual los intervalos anteriores se trata de ser conservador con el intervalo respecto del escenario base.

Una vez corrida la simulación para el VAN se obtienen los siguientes valores:

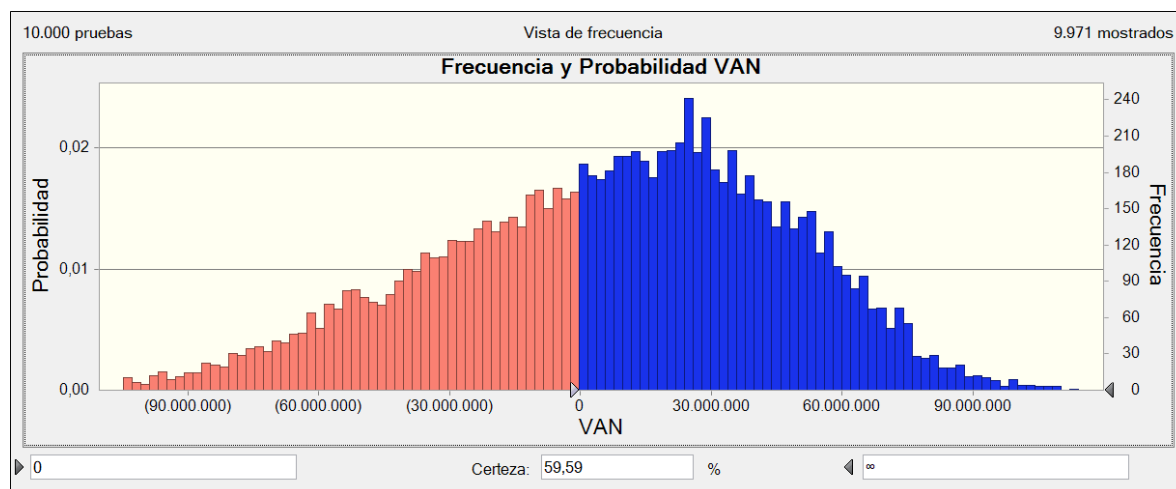


Gráfico 6.1 Resultado simulación de Monte Carlo

El Gráfico 6.1 ilustra la previsión o distribución de frecuencias del Valor Actual Neto (VAN), resultante tras ejecutar 10.000 iteraciones mediante la simulación de Monte Carlo. El modelo evaluó la interacción simultánea de las variables de entrada definidas anteriormente (cuota de mercado, precio, combustible y tasas de crecimiento).

Al establecer el límite inferior de rentabilidad en cero, el análisis arroja un nivel de certeza del 59,59% (representado por el área azul). Esto indica que existe una probabilidad media de que el proyecto genere un retorno financiero positivo. Por otro lado, la distribución muestra un 40,41% de probabilidad de obtener un VAN negativo (área roja), asumiendo

materializaciones conjuntas de escenarios pesimistas, principalmente ligados a una baja penetración de mercado inicial. En términos de amplitud, los resultados oscilan entre una pérdida máxima cercana a los 90 millones de pesos y un escenario optimista con un VAN aproximado de 90 millones, concentrándose la mayor densidad de probabilidad en rangos de rentabilidad positiva.

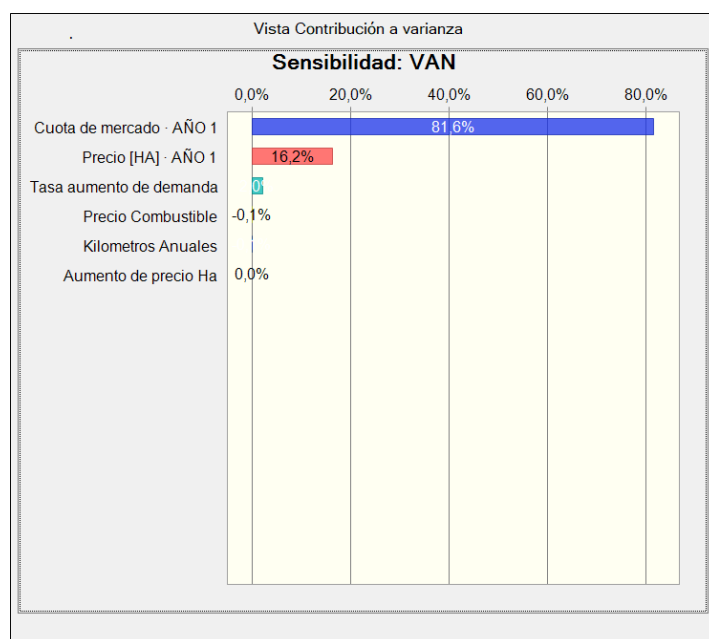


Gráfico 6.2 Contribución de las variables al VAN

El Gráfico 6.2 de contribución a la varianza permite identificar qué variables de entrada son responsables del riesgo y la variabilidad en el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto. Al analizar los resultados, se evidencia que la viabilidad financiera de la empresa es altamente sensible a la penetración inicial en el mercado: la “Cuota de mercado - AÑO 1” (81,6%)

Si bien esto indica que el éxito del proyecto depende críticamente de la captación de clientes durante el primer año, este alto porcentaje es también el resultado directo de la parametrización del modelo. Se definió intencionalmente una amplitud de intervalo muy alta y con un sesgo conservador (pesimista) para estos primeros años, con el objetivo de proteger la evaluación frente a una estimación de demanda con margen de error. Dado que la demanda proyectada de 10.000 [Ha] no se calculó utilizando datos directos de servicios de fumigación, sino mediante estimaciones indirectas (hectáreas cultivadas y datos anexos), es imperativo

considerar escenarios donde la demanda real sea significativamente menor. Esta decisión metodológica explica por qué el software asigna el mayor peso de riesgo a estas variables. Por su parte, el Precio aporta un 16% de contribución al éxito financiero del proyecto

Por otro lado, es fundamental destacar que las variables asociadas a los costos operativos logísticos, como el precio del combustible y los kilómetros recorridos, tienen una contribución marginal a la varianza (ambas inferiores al 2% en su impacto negativo). Este hallazgo es metodológicamente relevante, ya que demuestra que, a pesar de los supuestos adoptados para el cálculo de los gastos de combustible, el modelo financiero es robusto frente a fluctuaciones en este ítem, no representando una amenaza significativa para la rentabilidad global del proyecto.

En cuanto a cómo afectan estas variables a la TIR, es necesario decir que los gráficos son bastante parecidos. Sin embargo, el gráfico de varianza da resultados un poco más positivos que el del VAN

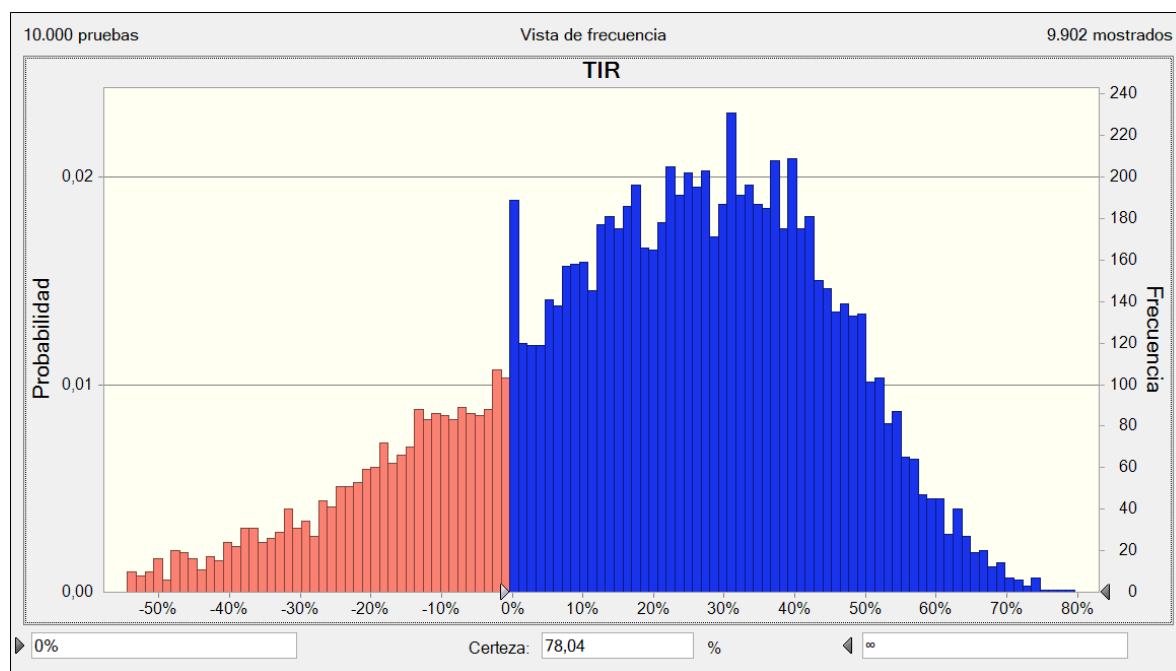


Gráfico 6.3 Simulación monte Carlo TIR

Respecto del Gráfico 6.3 resulta pertinente justificar la elección del 0% como línea base para el cálculo del nivel de certeza. En términos metodológicos, la exigencia de superar la tasa de

descuento (o costo de capital) ya fue internalizada y validada en el análisis probabilístico del Valor Actual Neto (VAN), el cual demostró una probabilidad mayor al 50% de creación de valor económico real. Por consiguiente, el propósito de evaluar la distribución de la TIR sobre un umbral de rentabilidad nula no es reevaluar el costo de oportunidad exigido al capital, sino medir de forma aislada la capacidad intrínseca del proyecto para alcanzar la auto sustentabilidad. El resultado obtenido, que arroja un 78,04% de certeza de generar retornos positivos, confirma empíricamente que la empresa tiene la solidez estructural necesaria para cubrir su propia inversión y mantenerse operativa a lo largo del tiempo, reduciendo al mínimo el riesgo de inviabilidad técnica o destrucción de capital propio.

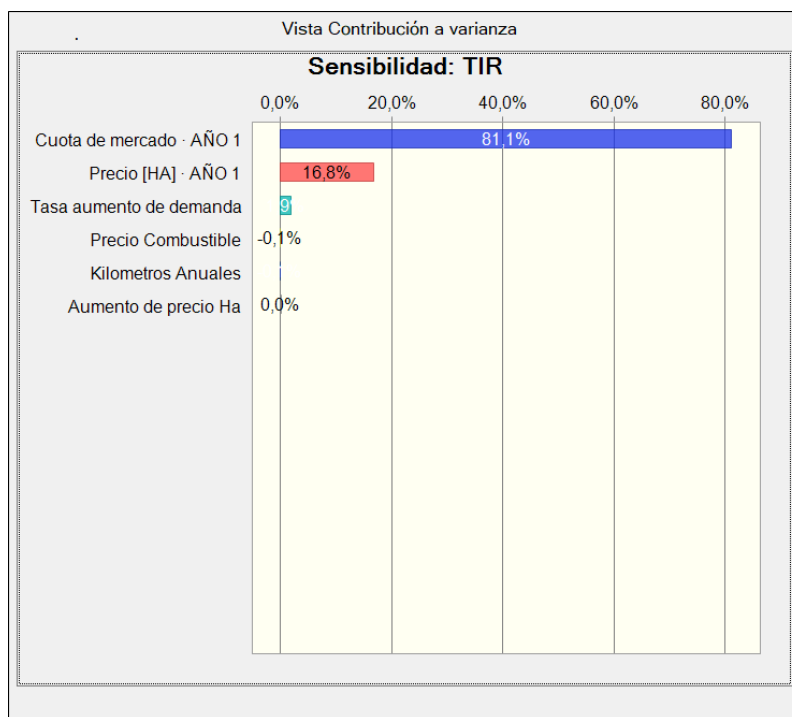


Gráfico 6.4 Contribución de las Variables a la TIR

Finalmente, podemos ver que la contribución de las variables a la TIR es prácticamente igual a la del Van, siendo nuevamente la cuota de mercado del primer año la variable mas importante para la sustentabilidad financiera del proyecto.

6.1. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del estudio, se ha identificado que el principal “enemigo” para la rentabilidad inmediata del negocio radica en la posible sobredimensión estructural operativa. Si bien el proyecto demuestra viabilidad económica, la selección de activos de alta capacidad como el DJI Agras T70P y la contratación de personal técnico de alto perfil generan costos fijos que representan más del 66% de los egresos operacionales de la empresa. Esta configuración eleva el punto de equilibrio y requiere tarifas de servicio superiores a las del mercado convencional, lo cual resulta crítico dado que la simulación de Monte Carlo determinó que el 81,6% de la variabilidad del éxito financiero depende exclusivamente de la captación de clientes durante el primer año. Por consiguiente, una de las conclusiones es que quizás un modelo de negocio más ágil o de "Producto Mínimo Viable" (MVP), basado en tecnología de menor costo y una estructura administrativa esbelta, permitiría reducir el precio al consumidor y asegurar una mayor penetración de mercado en el corto plazo, mitigando la incertidumbre financiera antes de escalar hacia una infraestructura de mayor magnitud.

Asimismo, una conclusión estratégica derivada del análisis de sensibilidad es la baja incidencia que poseen los costos de transporte en la rentabilidad global del proyecto. Según los resultados de la simulación de Monte Carlo, variables como el precio del combustible y los kilómetros anuales recorridos presentan una contribución marginal a la varianza del VAN, siendo en ambos casos inferior al 2%. Este hallazgo es fundamental, ya que sugiere que el modelo financiero es altamente robusto frente a los desplazamientos físicos, permitiendo considerar una expansión del radio operativo hacia un mayor número de comunas sin comprometer significativamente el flujo de caja. Al integrar más localidades en el análisis de Brown y Gibson, la organización podría diversificar su mercado local y mitigar el riesgo asociado a la variable más crítica identificada en este estudio.

Como observación final, es fundamental destacar que la exactitud y fiabilidad de esta evaluación de prefactibilidad podrían verse significativamente robustecidas mediante la integración de datos históricos provenientes de organizaciones con perfiles operativos similares. Dado que el estudio se basó en una metodología de proyección derivada ante la carencia de información pública específica del subsector, la disponibilidad de una base de

datos real permitiría contrastar los resultados del modelo Holt-Winters con el comportamiento efectivo de la demanda en terreno.

7. BIBLIOGRAFIA

(s.f.).

(2024). Obtenido de <https://ag.dji.com/newsroom/news/global-agriculture-drones-2024>

agendalogistica. (2024). Obtenido de https://www.agendalogistica.cl/china-comercio-exterior-exportaciones/exportaciones-de-frutas-crecen-en-precio-y-volumen-durante-la-temporada-2024-2025/1882504?utm_source=chatgpt.com

Banco Central. (s.f.). Obtenido de https://www.bcentral.cl/documents/33528/133214/bcch_presentac_100410_es.pdf/73de7200-53e9-db36-f58e-24cea8bb4525?t=1697800407416

BIBLIOTECA DIGITAL ODEPA. (s.f.). Obtenido de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/73166>

Convencion Internaciona de Proteccion Fitosanitaria. (s.f.). *IPPC*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/items/c3b69c30-0c83-47db-8fa8-4da57190d9f8>

DGAC. (10 de 02 de 2017). *DGAC.gob.cl*. Obtenido de <https://www.dgac.gob.cl/wp-content/uploads/2023/08/DAN-151-ED.2-ENM-1.pdf>

DJI. (2024). *DJI Agriculture*. Obtenido de https://www1.djicdn.com/cms_uploads/ckeditor/attachments/9171/03e81f9a23cf4df447b66c91c43d929a.pdf

FAO. (s.f.). Obtenido de <https://www.fao.org/chile/fao-en-chile/chileunamirada/es/>

INE. (2023). *Instituto Nacional de Estadistica*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/mercado-laboral/ocupacion-y-desocupacion>

ODEPA. (2023). *Catastro fruticila*. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2023/11/RegionMetropolitana-0911.pdf>

- ODEPA. (2024). *Bibliotecadigital*. Obtenido de Boletín de Empleo: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/73286/BEmpleo042024.pdf>
- ODEPA. (2024). *expochileagricola.cl*. Obtenido de Estadísticas silvoagropecuarias Nacionales: https://expochileagricola.cl/wp-content/uploads/2021/05/FichaNacionalInfografia_2024-Alejandra-Aguilar-Gorodecki.pdf
- ODEPA. (s.f.). *ODEPA*. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2025/02/Boletin-regional-de-exportaciones-silvoagropecuarias.pdf>
- SUBTEL. (2023). Obtenido de <https://www.fao.org/chile/noticias/detail-events/es/c/1656326/>
- Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S. F., Genesio, L., Vaccari, F. P., Primicerio, J., & Gioli, B. (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing*, 7(3), 2971–2990. <https://doi.org/10.3390/rs70302971>
- Omar, M. H., Hussin, R., Zainudin, M. I., & Awang, S. H. (2024). Field performance analysis of agricultural drone for pineapple plantation. *Journal of Agricultural Engineering*, 55(1), 18–26.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Sapag Chain, N. (2020). *Preparación y evaluación de proyectos* (7a ed.). McGraw-Hill.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2015). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.004>

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13, 693–712.
<https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

8. ANEXOS.

Año	Superficie Cultivada [Ha]
1999	329117,92
2000	350872,76
2001	360847,6703
2002	370815,0096
2003	378979,1797
2004	386658,7896
2005	400235,4792
2006	407727,1692
2007	420368,51
2008	354261,301
2009	376343,5303
2010	384321,7386
2011	425357,89
2012	422667,19
2013	438416,7
2014	442838,48
2015	447020,65
2016	455400,48
2017	460354,42
2018	467930,72
2019	488115,56
2020	489602,02
2021	492150,09
2022	513737,2
2023	506790,67
2024	512822,03

Tabla 8.1 Tabla con los datos de las [Ha] plantadas en Chile desde 1999 (Fuente: Instituto nacional de estadística, Catastro vinícola)

Especie	% Penetración (SAM)	Justificación Técnica (El "Dolor" que resuelve el Drone)
Cerezo	15%	Urgencia de secado post-lluvia (el tractor no entra por barro) y control de plagas sin tocar el suelo.
Vid de mesa	15%	Evita compactación de suelo y manchas en la fruta (valor de exportación). Acceso difícil en parrones bajos.
Arándano americano	15%	Plantaciones en camellones y suelos blandos donde la maquinaria pesada destruye raíces.
Palto	15%	Gran parte se cultiva en laderas/cerros. El dron reemplaza aplicaciones manuales peligrosas.
Nogal	8%	Árboles muy altos (>7m) donde nebulizadoras terrestres pierden eficacia en la copa.
Manzano rojo	6%	Aplicaciones puntuales cuando el suelo está mojado o para control de Araña en copas.
Peral	6%	Similar al manzano. Control de Psílido en ventanas de tiempo cortas.
Limonero	5%	Correcciones foliares rápidas y control de plagas en sectores de difícil acceso.
Mandarino	5%	Control de trips para evitar daño cosmético en la piel.
Naranja	5%	Apoyo en grandes extensiones para reducir tiempos de aplicación.
Nectarino	5%	Fruta de piel sensible, se evita el polvo que levanta el tractor.
Kiwi	5%	Suelos húmedos. El dron entra cuando el tractor se atasca por exceso de riego.
Avellano	3%	Cultivo muy mecanizado en tierra. El dron solo entra por emergencia sanitaria extrema.
Ciruelo europeo	3%	Margen del cultivo es menor, se privilegia el tractor por ser más barato.
Vid	2%	Se tolera daño estético, el tractor es mucho más eficiente en costo/ha.
Almendro	2%	Árbol resistente, pocas aplicaciones críticas que requieran dron.
Olivo	1%	Cultivo extensivo de bajo margen. Uso de dron no es rentable salvo excepciones.

Tabla 8.2 Análisis Cualitativo de la penetración de Drones según cultivo. (Fuente: Informe DJI agriculture)

RPA N° _____

SOLICITUD DE REGISTRO DE RPA

A. DATOS DEL PROPIETARIO

1. Nombre _____

2. Dirección _____ 3. RUT _____

4. Teléfono _____ 5. Email _____

B. DATOS DE LA AERONAVE

1. Tipo de Aeronave ☐ Avión ☐ Multirrotor ☐ Otro _____

2. Marca _____ 3. Modelo _____ 4. N° Serie _____

5. Motorización ☐ Eléctrico ☐ Combustión ☐ Otro _____

6. Fabricante _____ País _____

7. Peso Máx. Despegue _____ Autonomía _____

Paracaídas _____

C. EQUIPAMIENTO INCORPORADO

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

7. _____

8. _____

D. NOTAS

FECHA RECEPCION _____

FIRMA DEL PROPIETARIO

Ilustración 8.1 Ficha de inscripción Rpas Dan 151

Ítems	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por venta		250.000.000	258.825.000	267.858.500	277.104.769	286.568.159
Reposición Baterías partes y piezas		-27.500.000	-27.912.500	-28.331.188	-28.756.155	-29.187.498
Insumos Químicos		-22.400.000	-22.736.000	-23.077.040	-23.423.196	-23.774.544
Combustible Generador		-3.250.000	-3.298.750	-3.348.231	-3.398.455	-3.449.432
Total costos variables		-53.150.000	-53.947.250	-54.756.459	-55.577.806	-56.411.473
Viáticos Piloto Imagen		-3.600.000	-3.600.000	-3.600.000	-3.600.000	-3.600.000
		-	-	-	-	-
Sueldos		108.000.000	108.000.000	108.000.000	108.000.000	108.000.000
Arriendo		-24.000.000	-24.000.000	-24.000.000	-24.000.000	-24.000.000
RRHH/Contabilidad/ servicios		-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000	-6.000.000
Presupuesto Combustible X2		-10.891.400	-10.891.400	-10.891.400	-10.891.400	-10.891.400
Mantenición fija DJI agrícola X2		-700.000	-700.000	-700.000	-700.000	-700.000
Mantenición fija DJI Imagen		-180.000	-180.000	-180.000	-180.000	-180.000
EPP Anual		-1.388.000	-1.388.000	-1.388.000	-1.388.000	-1.388.000
Total gastos de administración y Ventas		-	-	-	-	-
		154.759.400	154.759.400	154.759.400	154.759.400	154.759.400
Depreciación		-26.301.905	-26.301.905	-26.301.905	-8.968.571	-8.968.571
Intereses		-11.386.798	-9.521.669	-7.470.027	-5.213.222	-2.730.735
Perdida del ejercicio anterior						
Ganancias/ pérdidas de capital						17.937.143
Utilidad antes de impuestos		4.401.897	14.294.776	24.570.709	52.585.771	63.697.979
Impuestos		-1.100.474	-3.573.694	-6.142.677	-13.146.443	-15.924.495
Utilidad después de impuestos		3.301.423	10.721.082	18.428.032	39.439.328	47.773.485
Depreciación		26.301.905	26.301.905	26.301.905	8.968.571	8.968.571
Perdida del ejercicio anterior						
Ganancias/ pérdidas de capital						
Flujo de caja operacional		29.603.328	37.022.987	44.729.937	48.407.899	56.742.056
Inversión Fija	-139.867.980					
Valor residual						
Capital de trabajo	-24.000.000					
Recuperación Capital de trabajo			6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000
Prestamos	113.867.980					
Amortización Deuda		-18.651.288	-20.516.417	-22.568.059	-24.824.865	-27.307.351
Flujo de caja de capitales	-50.000.000	10.952.039	22.506.570	28.161.878	29.583.035	35.434.705

Tabla 8.3 Flujo de caja.

8.1.1. DESCRIPCIONES DE CARGO.

Nombre del cargo	Jefe de Operaciones.
Descripción del cargo	Planificar, dirigir y controlar la ejecución integral de los servicios en terreno, fusionando la gestión de la operación aérea con la supervisión agronómica. Ejerce simultáneamente como Representante Técnico ante el SAG y como Encargado de Operaciones. Su responsabilidad abarca la administración de la flota de RPAS y sus planes de mantenimiento, el control del inventario de productos fitosanitarios y la coordinación logística de las células de trabajo (pilotos y técnicos), garantizando el cumplimiento transversal de la normativa legal (DGAC/SAG), la seguridad operacional y la calidad técnica de cada aplicación.
Tareas	• Planificación y Despliegue: Programar la logística diaria de las cuadrillas, asignando misiones según ubicación y carga de trabajo. Coordinar el transporte de equipos, viáticos y rutas para asegurar la puntualidad en el predio. • Gestión de Flota y Mantenimiento: Supervisar el estado de aeronavegabilidad de los drones (T70P/Mavic 3M) y generadores. Programar los mantenimientos preventivos y gestionar las reparaciones con el servicio técnico externo para minimizar tiempos muertos. • Representación Técnica (SAG): Validar agronómicamente las aplicaciones, gestionar la compra y stock de insumos químicos (Just-in-Time) y asegurar que todo el personal cuente con sus credenciales de aplicador y piloto vigentes. • Representación AOC (DGAC): Actuar como contraparte oficial ante la autoridad aeronáutica. Responsable de mantener vigente el Certificado de Operador Aéreo (AOC), gestionar los permisos de vuelo especiales, actualizar el Manual de Operaciones (DAN 151) y responder legalmente ante fiscalizaciones o incidentes aéreos.
Educación	• Ingeniera agrónoma
Experiencia	Un mínimo de 2 años en jefaturas o gerencias en cargos agrónomos con relación a la aplicación de productos fitosanitarios.
Remuneración	2.000.000\$
Otros requerimientos	Licencia vigente de aplicador de plaguicidas

Tabla 8.4 Descripción de cargo jefe de operaciones.

Nombre del cargo	Analista de Teledetección y Pilotos
Descripción del cargo	Procesar, analizar e interpretar la información geoespacial y espectral capturada por los equipos RPAS. Su función principal es transformar los datos brutos en mapas de índices de vegetación y cartografía digital, proporcionando un diagnóstico preliminar del estado de los cultivos al área de Operaciones Agrícolas para la toma de decisiones.
Tareas	• Ejecuta el preprocesamiento de las imágenes aéreas (RGB y multiespectrales) capturadas en terreno, utilizando software de fotogrametría para realizar la alineación, corrección radiométrica y generación de ortomosaicos georreferenciados. Asegura la integridad geométrica y la calidad visual de los mapas base, requisito indispensable para la fiabilidad del análisis posterior. • Realiza el análisis de la información espectral mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente herramientas como QGIS o software equivalente. Calcula y clasifica índices de vegetación (como NDVI, NDRE, EVI) para detectar variabilidad espacial, estrés hídrico o problemas de vigor en la cobertura vegetal, segmentando el huerto según los niveles de desarrollo detectados. • Genera reportes técnicos y visualizaciones cartográficas que constituyen el primer acercamiento al estado sanitario y productivo del huerto. Entrega estos insumos procesados al jefe de Operaciones Agrícolas, destacando las zonas de interés o anomalías detectadas, facilitando así la prescripción de tratamientos localizados y la planificación de las visitas de validación en campo.
Educación	• Ingeniería en Geomática, Cartografía, Geografía, Agronomía o carrera afin con especialización en Teledetección.
Experiencia	Antecedentes en la interpretación de imágenes multiespectrales aplicadas al agro. Experiencia en la generación y calculadora de índices de vegetación (NDVI, GNDVI, NDRE) y su correlación con estados fenológicos de cultivos frutales o extensivos.
Remuneración	1.800.000\$
Otros requerimientos	Nivel avanzado en QGIS (excluyente), ArcGIS, y software de fotogrametría

Tabla 8.5 Descripción de cargo Analista imagen.

Nombre del cargo	Operador Rpas
Descripción del cargo	Ejecutar las operaciones aéreas pilotadas a distancia asignadas, garantizando la seguridad del vuelo, la integridad de la aeronave y la calidad técnica del servicio (aplicación o captura de datos). Su responsabilidad principal es operar la aeronave cumpliendo estrictamente la normativa aeronáutica, los procedimientos del manual de operaciones y los planes de vuelo preestablecidos.
Tareas	• Opera la aeronave (RPAS) durante las misiones de trabajo, ya sea en modalidad manual o supervisando la ejecución de planes de vuelo automatizados. • Realiza las inspecciones de aeronavegabilidad previas y posteriores a cada vuelo. Ejecuta rigurosamente las listas de chequeo (checklists) para verificar el estado de motores, hélices, sensores, baterías y sistemas de enlace, validando que el equipo se encuentre en condiciones óptimas para operar antes del despegue y reportando cualquier anomalía técnica al área de mantenimiento. • Completa la documentación legal y operativa de cada jornada. Es responsable del llenado de la bitácora de vuelo personal y de la aeronave, registrando los tiempos de vuelo, lugares de operación, incidentes y ciclos de carga de las baterías, cumpliendo con los requisitos de trazabilidad exigidos por la autoridad aeronáutica y la política interna de la empresa.
Educación	• Credencial de Operador de RPAS vigente otorgada por la autoridad aeronáutica (DGAC). • Curso de manejo de Dron agrícola/Imagen • Educación media completa.
Experiencia	Horas de vuelo demostrables en plataformas similares.
Remuneración	1.200.000\$

Tabla 8.6 Descripción de cargo Operador Rpas.

Nombre del cargo	Técnico Agrícola
Descripción del cargo	Ejecutar las labores técnicas de preparación, manejo y carga de productos fitosanitarios en las operaciones de campo. Su función es garantizar que la dosificación y mezcla de los insumos cumplan con la prescripción agronómica, asegurando el cumplimiento de las normas de seguridad del SAG y brindando el soporte logístico necesario al piloto para la continuidad de la aplicación aérea.
Tareas	• Realiza la dosificación y preparación de las mezclas de productos químicos o biológicos, siguiendo estrictamente las órdenes de trabajo emitidas por la jefatura. Es responsable de la manipulación segura de los insumos, verificando la compatibilidad de los productos y asegurando la homogeneidad de la mezcla antes de su carga en la aeronave. • Ejecuta el procedimiento de llenado del estanque de los drones durante la operación, coordinándose con el piloto para minimizar los tiempos muertos entre vuelos. Asiste en el montaje y desmontaje de la zona de faena, la gestión del agua y la limpieza de los equipos de aspersión al finalizar la jornada, asegurando que el sistema de aplicación se mantenga libre de obstrucciones. • Mide y registra las variables meteorológicas locales (velocidad del viento, temperatura y humedad relativa) antes y durante la aplicación para validar la viabilidad técnica del tratamiento. Coloca y revisa los testigos de monitoreo (papel hidrosensible) en el cultivo para verificar la cobertura y deriva de la aplicación, reportando los resultados al Jefe de Operaciones Agrícolas.
Educación	Título de Técnico Agrícola
Experiencia	Experiencia demostrable en manejo de productos fitosanitarios, calibración de equipos y normas de seguridad agrícola.
Remuneración	1.000.000\$
Otros Requerimientos.	Licencia Aplicador de plaguicidas.

Tabla 8.7 Descripción de cargo Técnico Agrícola.